



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad Tecnología de la Construcción

Monografía

BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL DE LA CUENCA RÍO CIUDAD ANTIGUA

Para Optar al Título de Ingeniero Civil

Elaborado por:

Br. Jorge Alejandro Portocarrero Ulmos

Br. Rodrigo Iván Blandón Rodríguez

Br. Ervin Antonio Rueda Rodríguez.

Tutor:

Dr. Ing. Efraín Chamorro Blandón

Managua, Marzo 2017

Managua, 21 de marzo de 2017

Dr. Ing. Oscar Gutiérrez Somarriba

Decano F.T.C

Su Despacho

Estimado Dr. Gutiérrez:

Por este medio tengo a bien informarle que he concluido, de manera satisfactoria la tutoría del trabajo monográfico titulado **“BALANCE HIDRICO SUPERFICIAL DE LA CUENCA RIO CIUDAD ANTIGUA”** desarrollado por los bachilleres Jorge Alejandro Portocarrero Ulmos, Rodrigo Iván Blandón Rodríguez, Ervin Antonio Rueda Rodríguez.

En mi opinión, el trabajo fue desarrollado por los sustentantes con un alto nivel académico y puedo afirmar que han demostrado alcanzar un excelente dominio del tema, organización y redacción del mismo; de tal manera que cuenta con mi aprobación para que pueda ser defendido y de esta manera dar por concluido el último requisito parcial para obtener el Título de ingeniero Civil.

Sin más que agregar me despido.

Atentamente,

Dr. Ing. Efraín Chamorro B.

Tutor

RESUMEN

Este estudio está dirigido a determinar el Balance Hídrico a través de la aplicación del método de Budyko, considerando la relación Precipitación-Escorrentía y evaluando la distribución espacial y temporal de las variables climatológicas y los parámetros geomorfológicos, en la Unidad Hidrológica del Río Ciudad Antigua, ubicada en la Cuenca No. 45 en el Río Coco; con el propósito de brindar un resultado estimado del comportamiento de las entradas y salidas en la sub cuenca (Recarga y Descarga). Esto se establecerá a partir de los valores de precipitación y evapotranspiración registrados en las estaciones ubicadas dentro y cerca de la unidad hidrográfica del río Ciudad Antigua.

Debido a la escasez de registros de caudales, los flujos en la entrada de las distintas corrientes que drenan hacia el río, se estiman como una fracción de la precipitación mensual caída sobre la misma, que se convierte en escurrimiento medio; el caudal derivado se estima mes a mes.

Se describe la caracterización hidrográfica dirigida fundamentalmente a cuantificar las variables que tipifican a la unidad hidrográfica, con el fin de establecer la vocación, posibilidades y limitaciones de sus recursos naturales con el ambiente y las condiciones socioeconómicas de las comunidades que la habitan.

El cálculo del Balance Hídrico Superficial se realiza con la herramienta hidrológica de Cálculo Hidrometeorológico de Aportaciones y Crecidas (CHAC), desarrollado por el Centro de Estudios Hidrográficos (CEH) del CEDEX, 2003 (Centro de Experimentación de Obras Públicas, Ministerio de Infraestructuras de España).

INDICE

CAPITULO I: GENERALIDADES	- 1 -
1.1. Introducción	- 1 -
1.2. Antecedentes	- 2 -
1.3. Justificación.....	- 3 -
1.4. Objetivos:	- 4 -
1.4.1. Objetivo general:	- 4 -
1.4.2 Objetivos específicos:.....	- 4 -
1.5. Localización del área de estudio.....	- 5 -
1.5.1. Macro localización.....	- 5 -
1.5.2. Micro localización.....	- 7 -
CAPÍTULO II: CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	- 8 -
2.1. Descripción de la zona de estudio	- 8 -
2.1.1. Fundación y ubicación del municipio.....	- 8 -
2.1.2. Límites	- 8 -
2.1.3. Población	- 8 -
2.1.4. Actividad productiva	- 9 -
2.1.5. Geografía.....	- 9 -
2.1.6. Recursos naturales	- 10 -
2.2. Características climáticas de la zona	- 10 -
2.2.1. Clasificación de Köppen	- 11 -
2.2.2. Precipitación Media	- 11 -
2.2.3. Temperatura Media Anual	- 11 -
2.2.4. Humedad Relativa.....	- 12 -
2.3 Tipo y usos del suelo	- 12 -
2.3.1 Tipos de suelos.....	- 12 -
2.3.2 Uso de los suelos	- 15 -
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	- 18 -
3.1. Parámetros hidrometeorológicos	- 18 -
3.1.1. Ciclo hidrológico	- 18 -

3.1.2. Precipitación	- 20 -
3.1.3. Temperatura	- 21 -
3.1.4. Hidrograma.	- 22 -
3.1.5. Cuenca Hidrográfica.....	- 23 -
3.2. Caracterización Climática.	- 26 -
3.2.1 Clasificación Climática de Köppen.	- 26 -
3.2.2. Precipitación Media Anual	- 29 -
3.2.3. Aspectos Hidrográficos	- 29 -
3.3. Fisiografía y geomorfología de la unidad de cuenca	- 30 -
3.3.1. Área de la unidad de cuenca	- 30 -
3.3.2. Coeficiente de Compacidad (Kc).....	- 34 -
3.3.3. Rectángulo equivalente	- 35 -
3.3.4. Factor de Forma.....	- 36 -
3.3.5 Relieve	- 37 -
3.3.6. Elevaciones.....	- 37 -
3.3.7. Pendiente media	- 37 -
3.3.8. Curva hipsométrica	- 38 -
3.3.9. Polígonos de Frecuencia Altitudes	- 40 -
3.3.10. Red de Drenaje.....	- 40 -
3.3.11. Densidad de Drenaje	- 40 -
3.3.12. Longitud del cauce Principal	- 42 -
3.3.13. Numero de escurrimiento	- 42 -
3.3.14. Pendiente media del río principal.....	- 43 -
3.3.15. Tiempo de concentración	- 44 -
3.4. Balance hídrico	- 45 -
3.4.1. Sistemas de información geográficos	- 46 -
3.4.2. Información hidrometeorológica.....	- 46 -
3.4.3. Cálculo del balance hídrico	- 47 -
3.4.4. Parámetros del balance hídrico.....	- 48 -
3.4.5. Métodos para el cálculo de la evapotranspiración potencial	- 54 -
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA.....	- 58 -
4.1. Recopilación de Información.....	- 58 -

4.2. Determinación de los parámetros morfológicos	58 -
4.3. Caracterización climática de la unidad de cuenca	59 -
4.4. Calculo del balance hídrico aplicando el método de Budyko	61 -
4.4.1. Análisis de la Precipitación.	61 -
4.4.2. Estimación de la Evapotranspiración Potencial	61 -
4.4.3 Estimación del balance hídrico	61 -
4.4.4. Esgurrimiento Superficial	62 -
CAPÍTULO V: CÁLCULOS Y RESULTADOS	64 -
5.1 Determinación de los parámetros morfológicos	64 -
5.1.1. Área y perímetro	64 -
5.1.2. Densidad de Drenaje	64 -
5.1.3. Pendiente Media de la cuenca	65 -
5.1.4. Pendiente Media del Río	66 -
5.1.5. Tiempo de Concentración	66 -
5.1.6. Índice de Gravelius o Compacidad	67 -
5.1.7. Factor de Forma	68 -
5.1.8. Curva Hipsométrica	69 -
5.1.9. Polígonos de Frecuencia Altitudes	69 -
5.1.10. Perfil Longitudinal del río	71 -
5.1.11. Número de Esgurrimiento	72 -
5.1.12. Rectángulo Equivalente	73 -
5.2. Caracterización climática de la unidad hidrográfica	74 -
5.2.1. Clasificación de Köppen	74 -
5.2.2. Precipitación Media	77 -
5.2.3. Temperatura Media Anual	80 -
5.2.4. Humedad Relativa	81 -
5.3. Cálculo del balance hídrico aplicando el método de Budyko	82 -
5.3.1. Información Climatológica	82 -
5.3.2. Estimación de la Precipitación Media Areal	83 -
5.3.3. Evapotranspiración	85 -
5.3.4. Estimación del Esgurrimiento, aplicando el método de Budyko	90 -
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	93 -

6.1 Conclusiones	- 93 -
6.2 Recomendaciones	- 95 -
Bibliografía.....	- 96 -

Índice de cuadros

Cuadro No. 1.1: División Política Administrativa del municipio de Ciudad Antigua

Cuadro No. 2.1: Tipos de Suelos

Cuadro No.2.2: Uso del suelo en el área de estudio

Cuadro No. 3.1: Clasificación del clima según Köppen

Cuadro No. 3.2: Clases de tamaño de Cuencas

Cuadro No. 3.3: Clases de valores del Índice de Compacidad

Cuadro No. 3.4: Clases de valores de Factor de Forma

Cuadro No. 3.5: Clases de Densidad de Drenaje

Cuadro No. 3.6: Clases de valores del número de Escurrimiento

Cuadro No. 3.7: Clases de valores de pendiente

Cuadro No. 3.8: Clases de Tiempo de Concentración

Cuadro 5.1: Precipitación Media Anual de la Unidad Hidrográfica

Cuadro No. 5.2: Estaciones utilizadas en el análisis de la Precipitación

Cuadro No. 5.3: Precipitación media anual areal del área de estudio

Cuadro No. 5.4: Precipitación media mensual areal

Cuadro No. 5.5: Procedimientos para el cálculo de la Evaporación potencial

Cuadro No. 5.6: Valores medios mensuales de evapotranspiración potencial

Cuadro No.5.7: Escorrentía y caudal mensual del período de estudio

Índice de figuras

Figura No. 1.1: Macro localización de la unidad hidrológica

Figura No. 1.2: Micro localización de la unidad hidrológica

Figura No. 2.1: Mapa de Tipos de Suelo predominante en unidad hidrológica

Figura No. 2.2: Cobertura y uso de la tierra en la zona de estudio

Figura No. 3.1: Ciclo hidrológico

Figura No. 3.2: Tipos de precipitaciones

Figura No. 3.3: Tipos de hidrogramas

Figura No. 3.4: Parámetros hidrológicos

Figura No. 4.1: Ubicación de las estaciones meteorológicas en la zona de estudio

Figura No. 5.1: Mapa de altitudes de la sub cuenca Ciudad Antigua

Figura No. 5.2; Clasificación climática de Koppen

Figura No. 5.3. Precipitación media Anual de la unidad hidrográfica

Índice de Gráficos

Gráfico No. 3.5: Curva Hipsométrica

Gráfico No. 5.1: Curva Hipsométrica

Gráfico No. 5.2: Polígono de frecuencia de altitudes

Gráfico No. 5.3: Perfil Longitudinal de río principal

Gráfico No. 5.4: Precipitación media mensual de la unidad hidrográfica

Gráfico No. 5.5: Comportamiento de la temperatura media mensual

Gráfico No.5.6: Comportamiento de la Humedad Relativa media mensual

Gráfico no. 5.7: Precipitación media mensual areal

Gráfico No. 5.8: Evapotranspiración potencial del período de estudio

Gráfico No. 5.9: Precipitación y escorrentía mensual del período de estudio

Gráfico No. 5.10: Relación de la Precipitación, ETP y Escurrimiento (método de Budyko)

Anexo

Cuadro No. 1: Precipitación media mensual de la estación meteorológica de Telpaneca.

Cuadro No. 2: Precipitación media mensual de la estación meteorológica de San Fernando.

Cuadro No. 3: Humedad relativa media mensual de la estación meteorológica de Ocotal.

Cuadro No. 4: Temperatura media mensual de la estación meteorológica de Ocotal.

Cuadro No. 5: Temperatura mínima absoluta de la estación meteorológica de Ocotal.

Cuadro No. 6: Temperatura máxima absoluta de la estación meteorológica de Ocotal.

Cuadro No. 7: Factor de corrección por latitud (F_c Latitud)

Cuadro No. 8: Factor de duración por latitud (F_d Latitud)

Cuadro No. 9: Radiación extraterrestre (RMD)

CAPITULO I: GENERALIDADES

1.1. Introducción

El recurso hídrico, a nivel nacional, está siendo altamente afectado por la presión humana, agravando cada vez más su disponibilidad (cantidad y calidad). Estos factores de presión son fundamentalmente la sobre-explotación de acuíferos, el vertimiento de sustancias contaminantes a los cuerpos de agua, los cambios en el uso del suelo, tales como la deforestación, las prácticas agrícolas inadecuadas, el incremento de urbanizaciones en zonas de producción hídrica, entre otros.

Esta reducción en la disponibilidad hídrica, aunada a un alto índice de crecimiento poblacional, generan conflictos por los déficits de agua, los cuales están incrementando y tienden a agravarse, si no se toman las medidas necesarias, como la regulación del uso del agua a través de mecanismos de planificación normativas y leyes que permitan su protección y su distribución de forma racional.

En ese sentido, es necesario determinar el estado actual de la demanda y la disponibilidad del recurso hídrico; teniendo en cuenta su distribución espacial y temporal, que permita establecer lineamientos a seguir para su protección y que sirva de base a los usuarios del recurso y planificadores, para considerar su uso y disponibilidad en proyectos actuales y futuros.

Si al proceso de variabilidad climática, se le incorpora el tema de Cambio Climático, se observa que el comportamiento espacial y temporal de la precipitación, temperatura y caudal, vienen sufriendo alteración en su régimen, que hacen prever la probabilidad de ocurrencias de eventos extremos asociados a una deficiencia o exceso de agua.

El presente estudio se realiza dentro del contexto de trabajo de tesis para optar al título de Ingeniero Civil. La finalidad del mismo es estimar el Balance Hídrico Superficial en la cuenca del Río Ciudad Antigua para cuantificar los aportes y salidas, y así valorar la oferta y demanda de la unidad hidrográfica.

1.2. Antecedentes

Conforme los criterios integrales del ciclo hidrológico, incidencia del medio físico y de la población residente en la unidad de cuenca; los estudios hidrológicos se han interrelacionado con los diferentes parámetros climáticos y morfológicos, con el fin de profundizar en la caracterización de los recursos hídricos, tanto superficiales como subterráneos, para conocer los potenciales y disponibilidad de los recursos de agua existentes en la unidad de cuenca.

El estudio de balance de agua permite cuantificar el volumen de escurrimiento en la cuenca y en base a los resultados ofertar información que permita plantearse nuevas estrategias de planificación sobre el recurso hídrico; más aún cuando existen periodos prologados de sequía en la zona e impacto del cambio climático a nivel regional.

Los balances hídricos en Nicaragua se han implementado de hace mucho tiempo, principalmente por INETER (Instituto Nicaragüense De Estudios Territoriales). Con este trabajo se pretende desarrollar una metodología para estimar los volúmenes de agua en la unidad de cuenca hidrográfica del río Ciudad Antigua, que dispone de poca información hidrométrica (mediciones de caudales).

1.3. Justificación

El comportamiento espacial y temporal de la precipitación, temperatura y caudal, en las unidades de cuenca del país vienen sufriendo cambios en sus magnitudes; manifestando probabilidades de ocurrencias de eventos extremos asociados a una deficiencia o exceso de agua. Si a este proceso de variabilidad climática, se le incorpora el tema de Cambio Climático, se observa entonces que los estudios sobre la cuantificación y calidad los recursos hídricos se hacen cada vez más necesarios.

La valorización y análisis de los parámetros hidrológicos de la unidad de cuenca permite conocer la importancia de cada uno de ellos en el balance que considera las entradas y salidas de agua (Recarga y Descarga). Para el buen manejo de los recursos hídricos de una unidad de cuenca se debe determinar el estado actual de la oferta y disponibilidad del recurso hídrico, así como la presión por la demanda del mismo, teniendo en cuenta su distribución espacial y temporal.

Esta investigación servirá como una herramienta para el manejo y la planificación del uso del recurso hídrico, con la finalidad de ofrecer información para contribuir a asegurar la conservación, protección y manejo de la unidad de cuenca, teniendo en cuenta las condiciones económicas y productivas de la zona de estudio.

1.4. Objetivos:

1.4.1. Objetivo general:

Determinar en la unidad hidrológica del río Ciudad Antigua el Balance Hídrico a través de la aplicación del método de Budyko, considerando la relación Precipitación-Escorrentía y evaluando la distribución espacial y temporal de las variables climatológicas.

1.4.2 Objetivos específicos:

1. Determinar los parámetros morfológicos de la unidad de cuenca.
2. Realizar la caracterización climática.
3. Calcular del balance hídrico aplicando el método de Budyko.

1.5. Localización del área de estudio

1.5.1. Macro localización

Administrativamente, la unidad hidrográfica se localiza en la región Norte del país, correspondiendo su ubicación política administrativa al departamento de Nueva Segovia, teniendo entre las coordenadas Latitud 13°35.026" - 13°46'11.33" Norte y Longitud desde 86°16'7.36" - 86°20'16" Oeste.

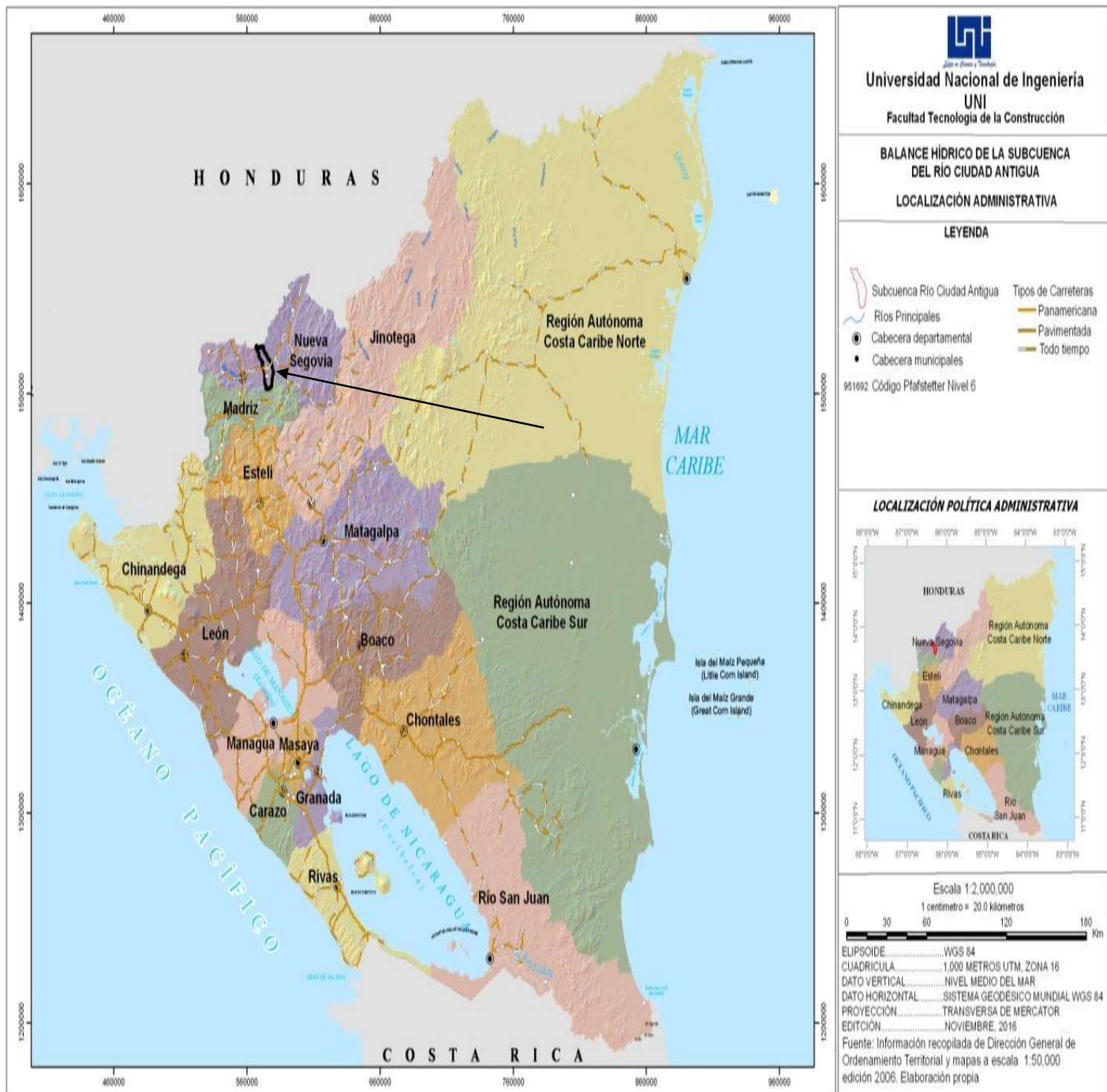
En el cuadro No.1.1 se expresa que la unidad hidrográfica contiene el área parcialmente de los municipios de Ciudad Antigua con 46.33 Km², este valor representa el 40.18 % de la superficie total de la unidad de cuenca; al municipio de San Fernando lo contiene en 62.35 Km² representando el 56.68 %; significando esto el 96.86 % de la superficie total de la unidad de cuenca, el resto representa escasamente el 3.14 % y se localiza en el municipio de Telpaneca con 6.62 km², lo que hace un total de 115.30 km² que tiene la unidad de cuenca del río Ciudad Antigua. En la figura No. 1.1 se muestra la macro localización de la unidad hidrológica.

Cuadro No. 1.1: División Política Administrativa del municipio de Ciudad Antigua

Departamentos	Municipios	Áreas en km2 y porcentajes (%) de municipios en la unidad de cuenca	
Nueva Segovia	San Fernando	62.35	56.68%
	Ciudad Antigua	46.33	40.18%
Madriz	Telpaneca	6.62	3.14%
	Total	115.30	100%

Fuente: INETER

Figura No. 1.1: Macro localización de la unidad hidrológica

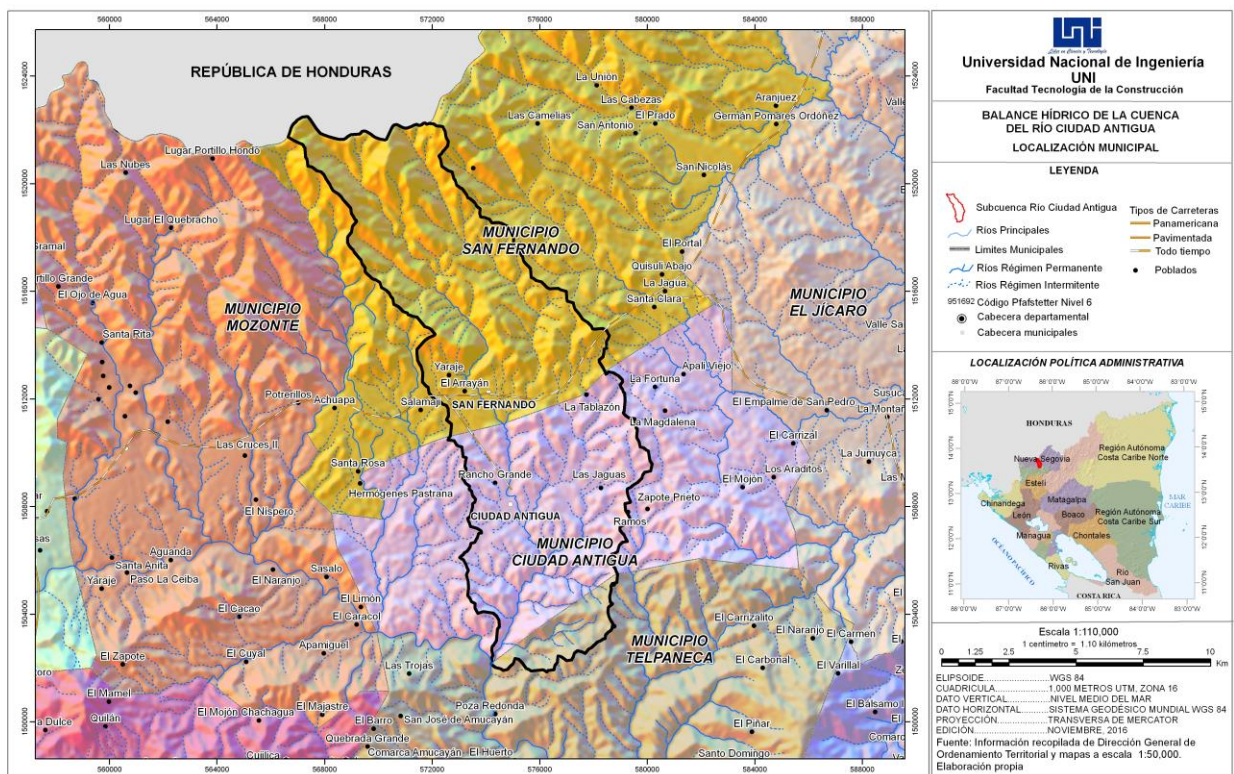


Fuente: Elaboración propia

1.5.2. Micro localización

En la Figura No. 1.2 se muestra la localización hidrográfica de la unidad hidrológica en estudio, la cual tiene una superficie de 115.30 km² y un perímetro de 65.40 km. Esta es una unidad tributaria de menor superficie de la unidad hidrológica del río Coco y está localizada al Noroeste del país.

Figura No. 1.2: Micro localización de la unidad hidrológica



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO II: CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

2.1. Descripción de la zona de estudio

2.1.1. Fundación y ubicación del municipio

Ciudad Antigua es cabecera municipal del municipio del mismo nombre en el Departamento de Nueva Segovia. Fue fundada entre los años de 1536 – 1538 por Gil González Dávila o Gabriel de Rojas con el nombre de Nuestra Señora de la Asunción de Nueva Segovia. Está ubicada a 250 Km de la capital, Managua. Localizada a 640 msnm. El municipio tiene un área de 147.22 kilómetros cuadrados. Su santo patrón es el Señor de los Milagros de Ciudad Antigua, cuya fiestas patronales se celebran del 14 al 20 de enero.

2.1.2. Límites

Los límites de este municipio son: Al norte con el municipio de San Fernando, al sur con el municipio de Telpaneca, al este con el municipio de El Jícaro, al oeste con el municipio de Mozonte.

2.1.3. Población

Los censos de población constituyen la principal fuente de información para conocer la evolución del tamaño de la población. La unidad hidrográfica objeto del presente estudio cubre en 56.68 % al municipio de San Fernando, 40.18 % a Ciudad Antigua y un 3.14 al municipio de Telpaneca, esto de acuerdo a los datos referido a la división política administrativa en que está dividido el país, proveniente de la Dirección General de Ordenamiento Territorial.

De acuerdo al censo poblacional realizado por el INIDE en el 2005, el municipio de San Fernando contaba con una población de 8,549 habitantes. De acuerdo a proyecciones y tasa de crecimiento del 2.1% para el 2015 el municipio cuenta con 10,962 distribuido de la siguiente manera: 4,330 habitantes en la zona urbana que representa el 50.65 % y 4,219 habitantes en la zona rural que refleja el 49.35 %.

La densidad poblacional del municipio es de 36.2 habitantes por km². El municipio de San Fernando es prácticamente un pueblo que sirve de base y avituallamiento a más de ocho mil habitantes dispersos en todo el municipio, ya que la mayoría de ellos tienen fincas cafetaleras donde pasan la mayor parte del tiempo, sobre todo en época de la cosecha.

El municipio está compuesto por 14 comunidades, los cuales están distribuidos en dos micro regiones:

- a) Microrregión I: El Casco Urbano de San Fernando, Santa Rosa, Achuapa, Alalí, Orosí, y Salamají.
- b) Microrregión II: Santa Clara, La Puerta, El Prado, Aranjuez, Apali, San Nicolás, El Ural, y el Amparo.

2.1.4. Actividad productiva

Las principales actividades económicas que predominan en el municipio son la ganadería de vacuno, así como la agricultura de granos básicos y el cultivo del café. Se estima que en todo el municipio de San Fernando existen unas doscientas fincas cafetaleras de igual número de productores, los que producen unos veinticinco mil quintales de café “oro” de exportación, generando trabajo a más de mil doscientos trabajadores permanentes en las haciendas y a más de cinco mil cortadores en tiempo de cosecha.

2.1.5. Geografía

El municipio presenta terreno de relieve irregular, con elevaciones menores a los 1000 msnm; sobresaliendo los cerros: El Chinchado (945 msnm), El Matrimonio (885 msnm), Loma Alta, Loma Sucia, Cordillera La Magdalena, Cordillera Potrerillos, Cerro del Coyol, El Chiboloso y la Cordillera de Jiquilistal.

2.1.6. Recursos naturales

Flora:

Cuenta con gran variedad de especies de madera, tales como guanacaste, laurel, cedro, cortés, caoba; algunas extensiones de vegetación matorralosa.

Fauna:

Sobresalen las especies de animales silvestres, tales como pumas, dantos, venados; como también especies de pequeño tamaño como conejos, tigrillos, garrobos, zorros, ardillas; especies de aves chorchas, palomas, clarines, carpinteros, pericos, pijules, zanates; algunas especies de reptiles.

Hidrografía:

En referencia a la unidad hidrológica del río Ciudad Antigua, es un río tributario del río Coco con código No. 45; nace en la Cordillera de Dipilto a una elevación de 1,500 msnm, posee una forma rectangular alargada, limita al Norte con el territorio de Honduras, al Sur con Telpaneca, al Este con las unidades hidrográficas de los ríos Achuapa y Salamají y al Oeste con la del río Susucayán.

Las características hidrográficas dependen de las condiciones predominantes dentro de la unidad hidrológica, tales como: área, perímetro, red de drenaje, relieve, uso de suelo, cubierta vegetal, etc.

2.2. Características climáticas de la zona

Los elementos que componen el clima son los factores más influyentes en el paisaje, en las características del suelo, en la fisonomía de la vegetación y en el potencial productivo de una región.

Al efectuar la descripción de una zona o región, se tiene que tener en cuenta las condiciones del tiempo atmosférico, considerando las medidas de sus características como parámetros a medio y largo espacios o períodos de tiempo. La descripción del clima de una región o lugar, generalmente tiene gran importancia debido a que toma en cuenta las condiciones del tiempo

atmosférico, consideradas en sus características a durante un determinado período suficientemente largo de años.

2.2.1. Clasificación de Köppen

De acuerdo al Sistema de Köppen Modificado, en Nicaragua se presenta los siguientes tipos o categorías de climas:

Clima Caliente y Subhúmedo Tropical, con lluvia en verano (AWo, AW1, AW2). Este clima predomina en todo la región del Pacífico y en la mayor parte de la región Norte; se caracteriza por presentar una estación seca (noviembre - abril). La precipitación varía desde un mínimo de 600 mm, hasta un máximo de 2,000 mm.

El Clima Templado Lluvioso A (Cam), se localiza en las partes más altas de la región Norte, en la Cordillera de Dipilto. Se caracteriza por mostrar temperaturas medias anuales de 18°C; esto es debido a que corresponde a lugares situados arriba de los 1,000 msnm y las precipitaciones promedios anuales oscilan entre 1,000 a 1,800 mm.

2.2.2. Precipitación Media

La precipitación de la región norte varía entre 1,800 mm - 2,500 mm, en esta región se encuentra un núcleo menor de 800 mm, principalmente en los municipios de Totogalpa, Palacagüina y Telpaneca; de igual forma se observa núcleos de 1,000 mm en los municipios de Ocotal, Somoto, Estelí y Terrabona.

El comportamiento de la precipitación para el caso de la unidad hidrográfica de estudio es de predominio en la parte alta y media de intervalos de precipitación que oscilan entre 1,000 a 1,400 mm; en cambio para la parte baja oscilan valores entre 800 mm y 1000 mm. La precipitación media calculada por el método de la isoyetas para la unidad hidrológica es de 1,170.27 mm.

2.2.3. Temperatura Media Anual

La temperatura es inversamente proporcional con la altitud, es decir, que a mayor altitud existe una menor temperatura. El comportamiento de la

temperatura media anual corresponde a los 24.4 °C. La media anual muestra que dentro de la región se puede observar contrastes significativos, provocados por el efecto del relieve y otras condiciones locales. Los rangos de temperaturas mínimos y máximos absolutas oscilan entre los valores de 13.9 °C y 33.0 °C.

Los valores medios mensuales de las temperaturas más elevadas se registran en los meses de abril y mayo, precisamente a finales del período seco, con valores de 26.6 y 26.4°C. Los valores de las temperaturas medias más bajas, ocurren entre diciembre y enero, con magnitudes que oscilan entre 22.7°C y 22.9°C respectivamente.

2.2.4. Humedad Relativa

La humedad relativa media anual para el área de estudio es de 77%; los valores mínimos de la humedad relativa en las diferentes localidades dentro de la unidad hidrológica tienen lugar en el mes de abril con 65%.

2.3 Tipo y usos del suelo

2.3.1 Tipos de suelos

La información del tipo de suelo atendiendo a los órdenes taxonómicos fue extraída de mapas de Orden de Suelos que se realizó para el territorio nacional por INETER en el 2015.

Se han identificado 3 grupos taxonómicos en la unidad hidrográfica. Esta información reviste de gran importancia debido a que permite dar una idea de la respuesta hidrológica de los suelos atendiendo sus propiedades.

Estos tipos de suelos se muestran en el cuadro No. 2.1. Así mismo se describe la distribución espacial de acuerdo a su orden taxonómico que se encuentran en el área de estudio; éstos se corresponden con los Entisoles con 60.68 km² (52.8 %), Inceptisoles con 48.53 km² (42.1%), Molisoles con 5.89 km² representan el 5.10 %. A continuación se describen las características taxonómicas de cada uno de los órdenes de suelos.

Cuadro No. 2.1: Tipos de Suelos

Orden de suelo	Área (km²)	Area (Ha)	Area (%)
Entisols	60.88	6,088	52.8
Inceptisols	48.53	4,853	42.1
Molisols	5.89	589	5.10
Total	115.30	11,530	100

ENTISOLES:

Son suelos de formación reciente que tienen poca o ninguna evidencia de desarrollo de horizontes pedogenéticos, la mayoría no poseen horizontes, con drenaje interno excesivo, moderadamente bueno, bueno, pobre a muy pobre, la profundidad varía de profundos a muy superficiales, en relieve de plano a muy escarpado, la fertilidad del suelo es de alta a baja, en algunos suelos las inundaciones son frecuente y prolongadas durante la estación lluviosa.

El drenaje natural de estos suelos varía de excesivo a muy pobre, estos suelos se encuentran en las provincias Volcánica del Pacífico, Costera del Pacífico, Planicie Costera del Atlántico y Tierras Altas del Interior, con rangos de pendiente del terreno que varían de 0.5% hasta 75% y más.

INCEPTISOLES:

Los Inceptisoles son suelos profundos a superficiales, el drenaje interno del suelo es de imperfecto a bien drenados, con inundaciones ocasionales y prolongadas en algunas áreas, sobre todo en la región Atlántica Norte del país, donde el contenido de aluminio fluctúa de alto a medio. Se presentan en relieve de plano a muy escarpado, la fertilidad se presenta de muy baja a alta. Son desarrollados de sedimentos aluviales, fluviales, coluviales, de cenizas volcánicas, de rocas básicas y ácidas.

El drenaje natural interno de estos suelos varía de muy pobre a bien drenados y el nivel freático de muy superficial a muy profundo. Estos suelos son aptos para un gran número de cultivos como algodón, ajonjolí, cacao, maní, maíz, hortalizas, banano, plátano, piña, café, cítricos.

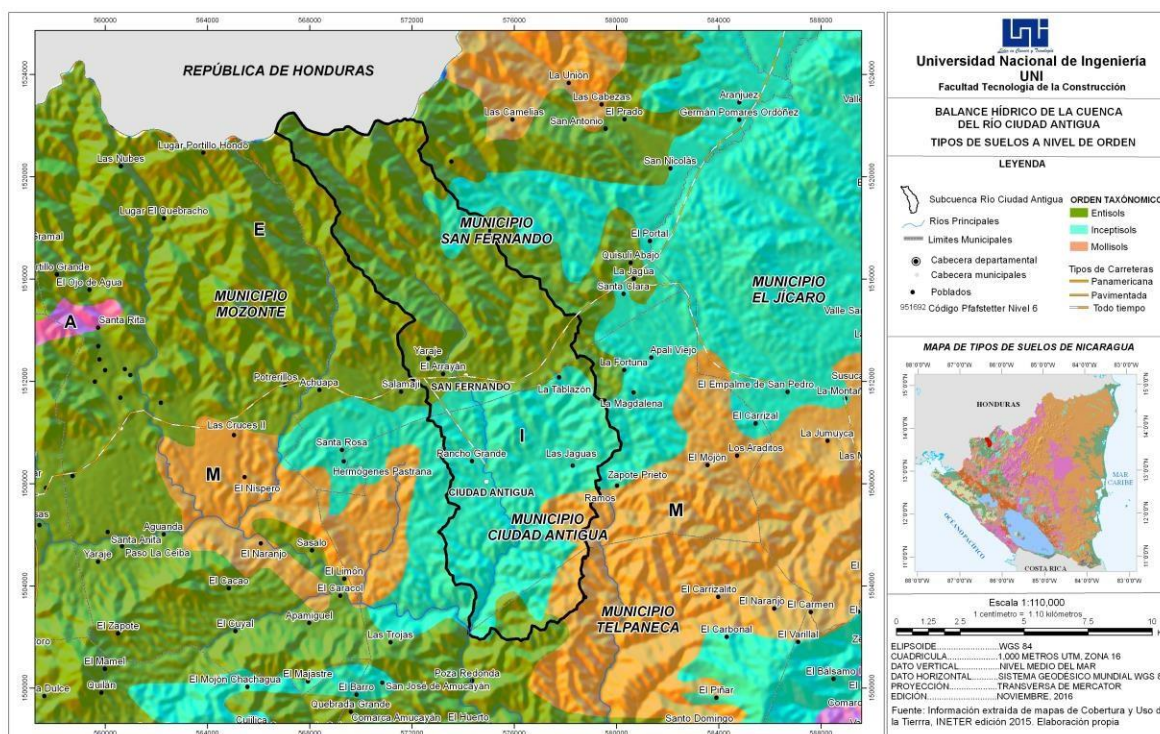
En algunos casos por riesgo o susceptibilidad de los suelos a la erosión hídrica y/o eólica se recomiendan para bosques o reforestación y en otros casos debido a deficiencias del drenaje interno de los suelos, presencia de tabla de agua alta, inundaciones frecuentes.

MOLISOLS:

El grupo taxonómico de los Molisoles son suelos francos arcillosos, suelos con un drenaje interno natural de muy pobre a bien drenado, de muy superficiales a muy profundos, en relieve, de plano a muy escarpado, fertilidad de baja a alta.

El drenaje interno del suelo es de muy pobre a bien drenado, el nivel freático se encuentra bastante superficial durante la estación lluviosa en algunas áreas, con rangos de pendientes entre 0 y 75% y relieve de plano a muy escarpado. En la figura 2.1 se muestra los diferentes tipos de suelos predominantes en la unidad hidrográfica.

Figura No. 2.1: Mapa de Tipos de Suelo predominante en unidad hidrológica



Fuente: Elaboración propia

2.3.2 Uso de los suelos

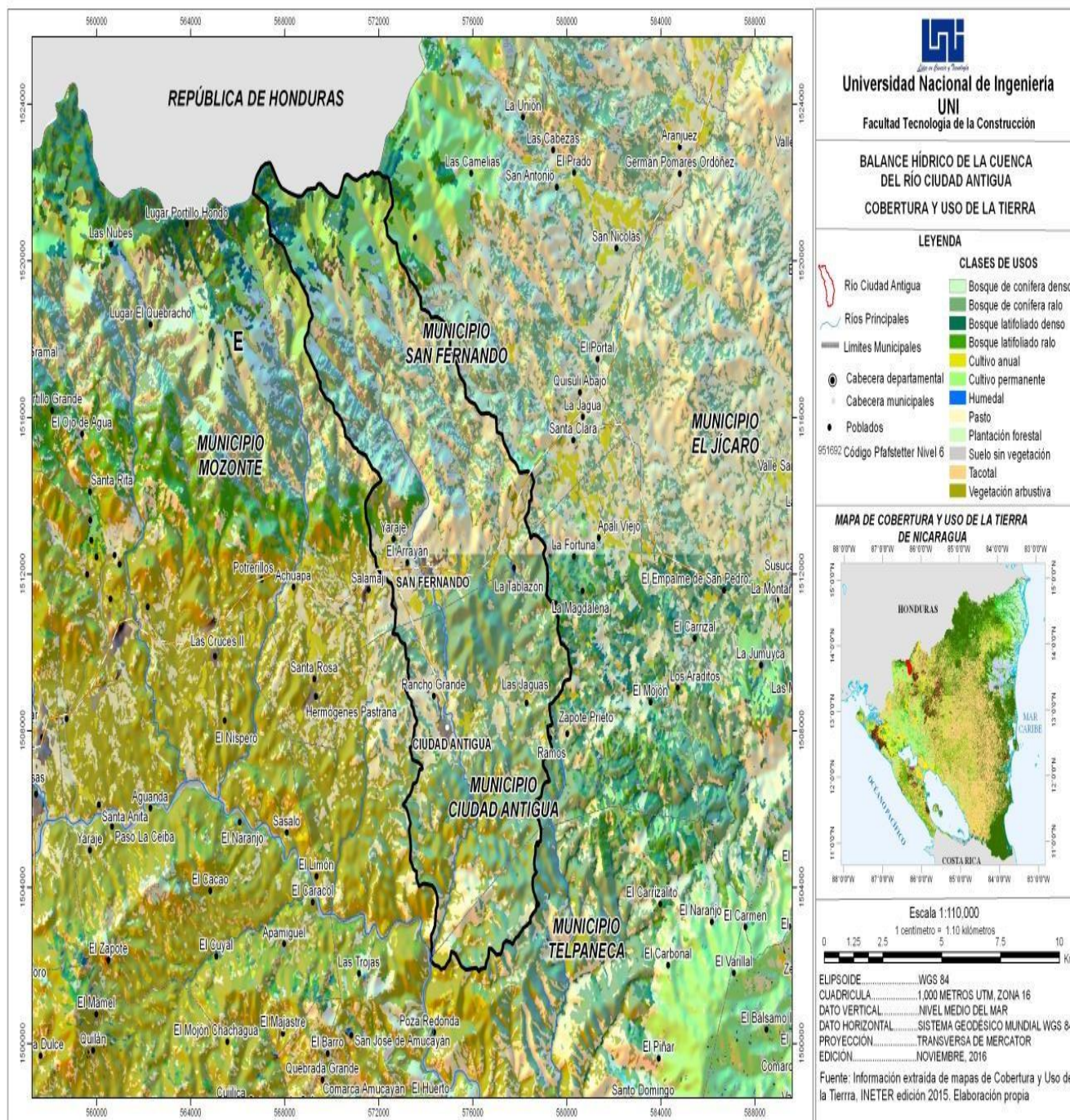
El uso actual del suelo predominante en el área de estudio, corresponde mayormente a los usos actuales de: Café con sombra 23.70 km² (24.56%), pastos con 23.16 km² (24.0%) y bosque de pino abierto 12.76 km² (13.22%), lo que representa el 61.78 % del área total. El área restante (38.22%) se distribuye entre otros usos actuales, como son: tacotales con 8.26 km² (8.56%), bosque de pino cerrado 5.63 km² (5.83%) y bosque mixto 5.26 km² (5.45%). En el cuadro No.2.2 se refleja el uso actual de los suelos en el área de estudio y en la figura No. 2.2 se muestra el mapa de cobertura uso del suelo.

Cuadro No.2.2: Uso del suelo en el área de estudio

Uso Actual	Km²	Ha	%
Cuerpos de Aguas Superficiales	0.07	7.00	0.06
Bosque de conífera denso	15.59	1,559	13.52
Bosque de conífera ralo	40.49	4,049	35.12
Bosque latifoliado denso	3.96	396	3.43
Bosque latifolidado ralo	3.78	378	3.28
Ciudades, caseríos, poblados		98.0	0.85
Cultivos Anuales	1.46	146	1.26
Cultivo permanente	7.54	754	6.54
Pastos	30.34	3,034	26.31
Suelos sin Vegetación	1.36	136	1.18
Vegetación arbustivas	9.75	975	8.46
Total	115.30	11,530	100

Fuente: INETER

Figura No. 2.2: Cobertura y uso de la tierra en la zona de estudio



Fuente: INETER

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

3.1. Parámetros hidrometeorológicos

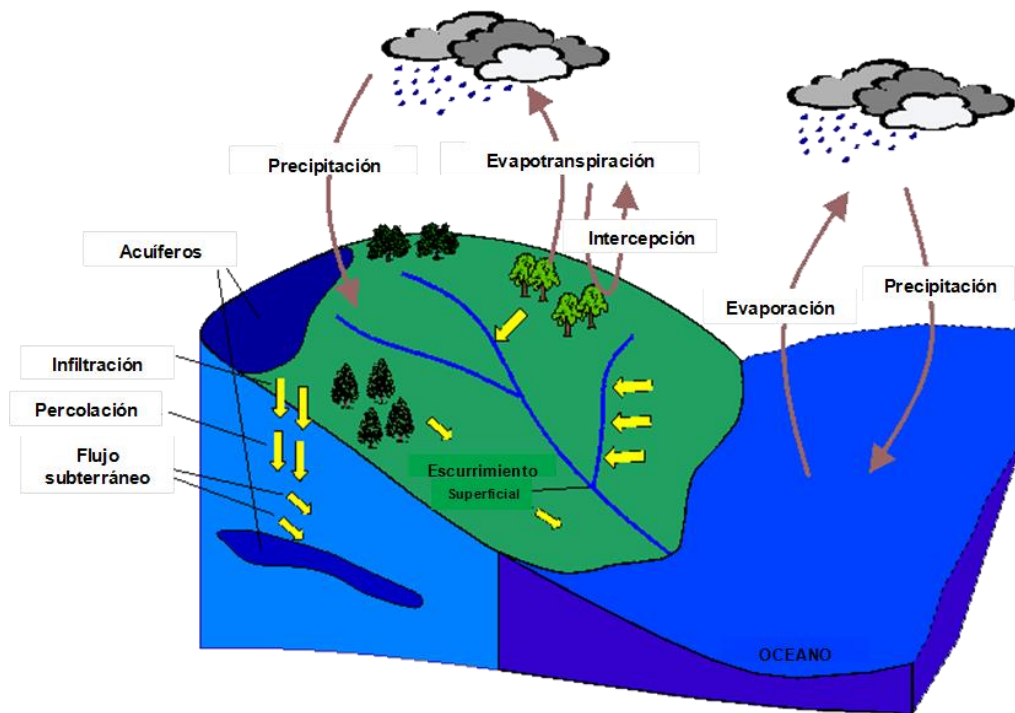
3.1.1. Ciclo hidrológico

Se denomina Ciclo Hidrológico al movimiento general del agua, ascendente por evaporación y descendente primero por las precipitaciones y después en forma de escorrentía superficial y subterránea; es decir, que es el proceso global por el cual se considera al agua un recurso natural renovable; debido a que en esa circulación espontánea y continua el líquido vital se purifica y retorna temporalmente a sus fuentes, que la ponen al alcance de sus múltiples demandantes.

La ecuación de balance hidrológico, es la ley más importante en Hidrología, y aunque su expresión es muy simple, la cuantificación de sus términos es normalmente complicada, principalmente por la falta de mediciones directas en campo y por la variación espacial de la evapotranspiración, de las pérdidas profundas (a acuíferos) y de las variaciones del agua almacenada en una cuenca.

El ciclo hidrológico es la sucesión de etapas que atraviesa el agua al pasar de la tierra a la atmósfera y volver a la tierra: evaporación desde el suelo, mar o aguas continentales, condensación de nubes, precipitación, acumulación en el suelo o masas de agua y re-evaporación. En la figura No. 3.1 se muestra esquemáticamente de forma general el ciclo hidrológico.

Figura No. 3.1: Ciclo hidrológico



Fuente: André Musy

El ciclo hidrológico involucra un proceso de transporte re-circulatorio permanente; este movimiento permanente del ciclo se debe fundamentalmente a dos causas: la primera, el sol que proporciona la energía para elevar el agua mediante la evaporación; la segunda, la gravedad terrestre, que hace que el agua condensada descienda (precipitación y escurrimiento). Según Chereque, el ciclo hidrológico se entiende como el conjunto de cambios que experimenta el agua en la naturaleza, tanto en su estado (sólido, líquido y gaseoso) como en su forma (superficial, sub-superficial, subterránea, etc.).

Los fenómenos hidrológicos son muy complejos, por lo que nunca pueden ser totalmente conocidos. Sin embargo, a falta de una concepción perfecta, se pueden representar de una manera simplificada mediante el concepto de sistema.

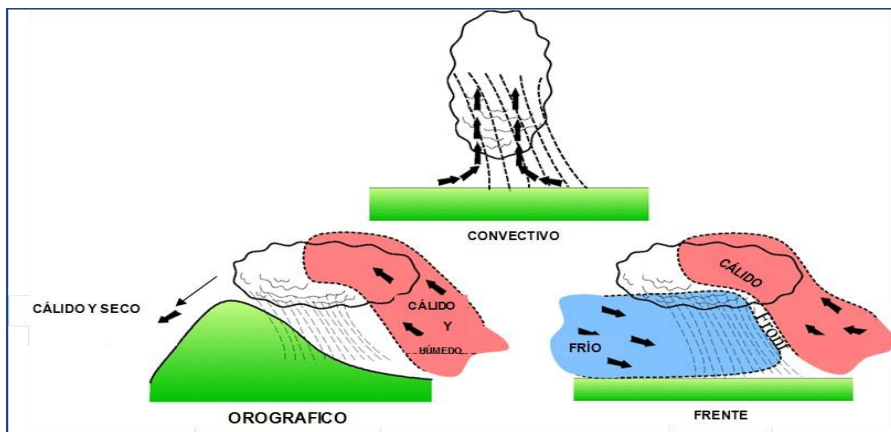
3.1.2. Precipitación

Se denomina precipitación, a toda agua meteórica que cae en la superficie de la tierra, tanto en forma líquida (llovizna, lluvia, etc.) y sólida (nieve, granizo, etc.) y las precipitaciones ocultas (rocío, la helada blanca, etc.). Ellas son provocadas por un cambio de la temperatura o de la presión. La precipitación constituye la única entrada principal al sistema hidrológico continental (Musy, 2001). Para la formación de la precipitación se requiere la condensación del vapor de agua atmosférico.

Los varios procesos termodinámicos son convenientes para realizar la saturación de las partículas atmosféricas inicialmente no saturadas y causar su condensación.

Existen diferentes tipos de precipitación: precipitación convectiva, precipitación orográfica y precipitaciones frontales, tal como se puede apreciar en la siguiente figura 3.2.

Figura No. 3.2: Tipos de precipitaciones



Fuente: André Musy

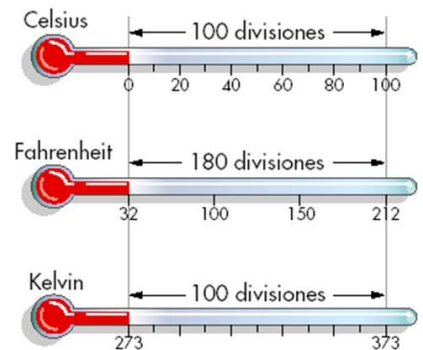
Precipitación Convectiva. Resultan de una subida rápida de las masas del aire en la atmósfera. La precipitación que resulta de este proceso es generalmente tempestuosa, de corta duración (menos de una hora), de intensidad fuerte y de poca extensión espacial.

Precipitación Orográfica. Como su nombre indica (del griego oros = montaña); este tipo de precipitación se relaciona con la presencia de una barrera topográfica. La característica de la precipitación orográfica es su intensidad y frecuencia regular.

Precipitación frontal o del tipo ciclónico. Se denomina Frentes, a la asociación de la temperatura de la masa de aire y la humedad. Los frentes fríos crean precipitaciones cortas e intensas. Los Frentes calientes generan precipitaciones de larga duración pero no muy intensos.

3.1.3. Temperatura

La cantidad de energía solar, retenida por el aire en un momento dado, se denomina Temperatura. Se puede afirmar que la temperatura depende ante todo de la radiación solar. El termómetro es el instrumento de fiabilidad que se utiliza para medir esa cantidad de energía. Esta medición debe realizarse a 1.5 metros del suelo, siendo un lugar ventilado y protegido de la influencia directa de los rayos del sol. El resultado de ello se expresa en una escala centígrada o en grados Celsius, o bien en la escala de Fahrenheit.



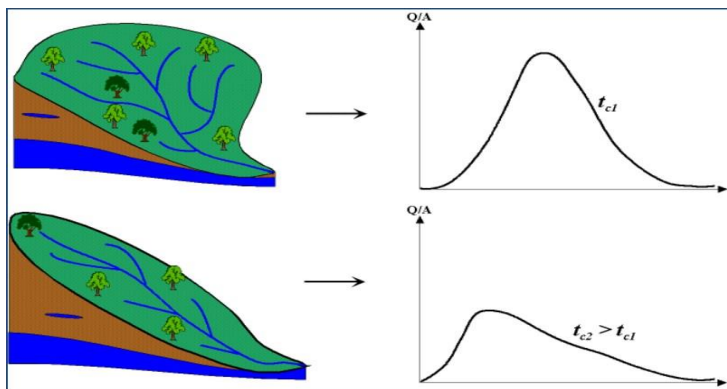
No obstante, son tres los factores del clima que hacen funcionalmente variar la temperatura. Ellos son: la altitud, la latitud y la proximidad al mar. Pero además hay que agregarle en la influencia de los cambios términos a los movimientos de rotación y traslación de la tierra.

3.1.4. Hidrograma.

Un Hidrograma es la expresión gráfica de la variación del caudal a lo largo del tiempo. Un hidrograma de caudal es una gráfica o una tabla que muestra la tasa de flujo como función del tiempo en un lugar dado de la corriente. En efecto el hidrograma es una expresión integral de las características fisiográficas y climáticas que rigen las relaciones entre la lluvia y escorrentía de una cuenca de drenaje particular. El hidrograma permite representar la variación del caudal de un río, en función del tiempo.

El hidrograma, está en función del aporte de precipitaciones que puedan ocurrir en la superficie de la cuenca y de las características físicas de ella, tal como se puede apreciar en la siguiente figura N° 3.3; donde se observa una comparación de dos hidrogramas en función de la forma de la cuenca. Es decir para este caso a mayor pendiente de la cuenca la respuesta del hidrograma es más directa.

Figura No. 3.3: Tipos de hidrogramas



Fuente: André Musy

3.1.5. Cuenca Hidrográfica

La cuenca hidrográfica se define como una unidad territorial en la cual el agua que cae por precipitación se reúne y escurre a un punto común o que fluye toda al mismo río, lago o mar. En esta área viven seres humanos, animales y plantas, todos ellos relacionados (Sing, 1989).

Unidad de cuenca:

Unidad de drenaje de menor superficie que una cuenca y que forma parte de esta, constituyendo un tributario de la misma, o sea una cuenca que sale o que drena a una cuenca más grande (Sing, 1989).

Evaporación:

La evaporación es el fenómeno físico que permite a un fluido, convertirse en vapor o sea, en gas e incorporarse al aire. Es un fenómeno no conocido exhaustivamente y forma parte del ciclo hidrológico.

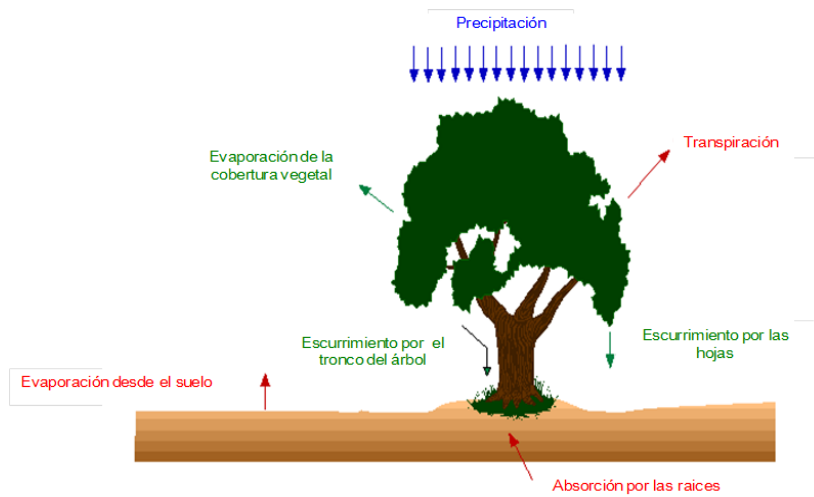
Transpiración:

Es la evaporación a través de las hojas. El proceso fisiológico de alimentación de las plantas se efectúa mediante el paso de ciertas cantidades de agua, portadoras de los alimentos, por el interior de ellas y ese tráfico solamente es posible gracias a la transpiración.

Intercepción:

Es la parte de la precipitación que es interceptada por objetos superficiales como la cubierta vegetal o los tejados, en general, parte de esta agua interceptada nunca alcanza al suelo porque se adhiere y humedece estos objetos y se evapora posteriormente (Ver figura No. 3.4).

Figura No. 3.4: Parámetros hidrológicos



Fuente: André Musy

Evapotranspiración:

Es el total de agua convertido en vapor por una cobertura vegetal; incluye la evaporación desde el suelo, la evaporación del agua interceptada y la transpiración por las estomas de las hojas.

La evapotranspiración, es la combinación de dos procesos separados que originan pérdida de agua:

Evaporación: es el proceso por el cual el agua líquida es convertida en vapor de agua (vaporización). La energía requerida para cambiar el estado de las moléculas de agua a vapor es la radiación solar directa, la temperatura ambiental del aire.

Transpiración: Consiste en la vaporización del agua líquida contenida en las plantas y el vapor removido a la atmósfera. La pérdida del agua es a través de las estomas de las plantas.

La transpiración, depende de la energía radiante, gradiente de presión de vapor y viento, radiación, temperatura del aire, humedad del aire y viento. La razón de la transpiración también está influenciada por, la característica de la vegetación, aspecto del ambiente y práctica de cultivo.

Los factores que influyen en la Evaporación son los siguientes:

- ✓ Radiación Solar,
- ✓ Temperatura,
- ✓ Humedad del aire: para menos humedad, más evaporación,
- ✓ Presión Atmosférica: la altitud, la latitud y longitud,
- ✓ Viento: para más viento, más evaporación.

La evaporación desde un suelo sin cobertura depende de:

- ✓ El poder evaporante de la atmósfera,
- ✓ El tipo de suelo (textura, estructura, etc.),
- ✓ El grado de humedad del suelo.

La transpiración está en función de:

- ✓ El poder evaporante de la atmósfera,
- ✓ El grado de humedad del suelo,
- ✓ El tipo de planta,
- ✓ Variaciones estacionales,
- ✓ Variaciones interanuales.

La evaporación y transpiración ocurren simultáneamente que no es fácil de distinguirlos. Cuando la planta es pequeña, el agua pérdida es por evaporación del agua en el suelo, pero cuando la planta va desarrollándose paulatinamente, la transpiración va cobrando mayor importancia en este proceso.

La correcta determinación de la ET es uno de los mayores problemas prácticos que se debe afrontar, debido a que su cuantificación básicamente se realiza a través de métodos y modelos semi-empíricos.

3.2. Caracterización Climática.

3.2.1 Clasificación Climática de Köppen.

Los elementos que componen el clima son los factores más influyentes en el modelaje del paisaje, en las características del suelo, en la fisonomía de la vegetación y en el potencial productivo de una región.

Al efectuar la descripción de una zona o región, se tiene que tener en cuenta las condiciones del tiempo atmosférico, considerado las características climáticas a mediano y a largo plazo del tiempo. La descripción del clima de una región o lugar, generalmente es de gran importancia debido a que toma en cuenta las condiciones del tiempo atmosférico, consideradas en sus características medias a través de un período suficientemente largo de años.

Para la Clasificación Climática, se utiliza las Modificaciones del Sistema de Köppen hecha por la MSc. Enriqueta García, consultora proyecto FINNIDA /OMM/CRRH/INETER-Dirección de Meteorología, 1994.

Las designaciones originales correspondientes a los grupos climáticos A, B, C, D y E se conservan iguales. El clima Af que Köppen llama “Clima de Selva”, es designado como “Clima Caliente Húmedo con lluvias todo el año”. El clima Aw, designado por Köppen “Clima de Sabana” es designado como “Clima caliente y sub-húmedo con lluvias en verano.

Las designaciones que utiliza Köppen para definir el régimen de precipitación se cambiaron por otras equivalentes que indican la ubicación de la estación lluviosa, con relación a la estación cálida o la fría; en vez de usar como lo hace Köppen, la época seca con el mismo fin, por ejemplo, para el clima que Köppen denomina “Clima con invierno seco” w por lo menos diez veces mayor la cantidad de lluvia en

el mes más húmedo de la mitad caliente del año (mayo -octubre) que en el mes más seco; se adoptó la designación de “Clima con lluvias en verano”.

Köppen utilizó tres criterios diferentes para delimitar los climas de acuerdo a la temperatura, para tal fin y en algunos casos, usa las temperaturas medias de los meses más fríos y más calientes, en otros, el promedio anual de las temperaturas y por último, un período del año con cierta temperatura, según Köppen, la temperatura de 18°C para el mes más frío, separa a los climas templados húmedos “C”, de los calientes húmedos “A”.

Los límites térmicos que se usan en la clasificación de Köppen, no son comparables entre sí, puesto que no se emplea el mismo criterio para todos, por lo que en el presente estudio se utiliza el criterio de la temperatura media anual.

Para designar a los lugares con climas pertenecientes a este grupo, conservando los símbolos originales de Köppen, cuando una estación con las características del subgrupo resulte incluido en el grupo C, se colocará antes de esa letra el símbolo (A) (entre paréntesis, para iniciar su tendencia hacia condiciones climáticas del grupo A.

Por el contrario, si una estación con características semicálidas resulta dentro de grupo A Köppen, se le agregará la letra (C) inmediatamente después de la letra A, para indicar su tendencia hacia condiciones climáticas del grupo C.

De lo anterior se puede establecer lo siguiente (Ver cuadro 3.1):

Cuadro No. 3.1: Clasificación del clima según Köppen

Climas Húmedos	Simbolos	Temperatura Media Anual
Cálidos	A	Sobre 22 °c
Semicalidos grupo A	A (C)	Entre 18 °c y 22 °c
Semicalidos grupo C	(A) C	Bajo 18 °c

Fuente: INETER

Los climas con escasa oscilación térmica se consideran isotermiales (i), ya que la oscilación media anual de las temperaturas medias es inferior a 5°C. Los que tienen oscilaciones mayores, comprendidas entre 5° y 7°C se les denomina con el símbolo (i').

Modificaciones al Grupo de Climas A, tropicales lluvioso:

Tipos de climas Af de Köppen, con precipitación del mes más seco de 60 mm.

<u>Símbolo</u>	<u>Porcentaje de lluvia invernal con respecto a la anual</u>
Am(+)	(mayor de 10.2%)
Am	(entre 5 y 10.2%)
Am (w)	(menor de 5%)

Tipos de clima Am de Köppen. No necesariamente debe tener por lo menos diez veces mayor cantidad lluvia en el mes más húmedo de la mitad caliente del año, que en el mes más seco.

Tipos de climas Aw de Köppen (subhúmedo con lluvias en verano). Por lo menos diez veces mayor cantidad de lluvias en el mes más húmedo de la mitad caliente del año, que en el mes más seco.

<u>Símbolo</u>	<u>Cociente P/T</u>	<u>Designaciones</u>
Awo	43.2	(el más seco de los subhúmedos)
Aw1	entre 43.2 y 55.3	(intermedio entre Aw0 y Aw2)
Aw2	55.3	(el más húmedo de los Subhúmedos).

De acuerdo a la clasificación de Köppen el clima predominante en la zona en estudio es de Clima Caliente y Sub-húmedo con lluvia en el periodo seco (AW1),

(AW2). Este clima predomina en toda la Región del Pacífico y en mayor parte en la Región Norte. Se caracteriza en una marcada estación seca durante seis meses, desde noviembre hasta abril y un período lluvioso que inicia en mayo y finaliza en octubre.

3.2.2. Precipitación Media Anual

El comportamiento de la precipitación en Nicaragua tiene como principal característica la de disminuir de Este a Oeste y su distribución media anual es variada, con rangos comprendidos entre 800 mm que se registran en los valles intramontanos en el Norte del país, hasta más de 5000 mm en el Sureste del país.

La distribución de la precipitación interanual presenta importantes variaciones espaciales y temporales que son el resultado de complejas interacciones entre la circulación general de la atmósfera, los sistemas meteorológicos, la orografía, la orientación y forma de las costas así como las influencias de los flujos de humedad provenientes del Mar Caribe y el Océano Pacífico.

La distribución de la precipitación media anual, se puede obtener por el método de los Polígonos de Thiessen, esto con el objetivo de tener una mejor distribución espacial de la lluvia

3.2.3. Aspectos Hidrográficos

Dada la importancia de la configuración de las cuencas, se trata de cuantificar las características por medio de índices o coeficientes, los cuales relacionan el movimiento del agua y las respuestas de la cuenca a tal movimiento (hidrogramas).

Parece claro que existe una fuerte componente probabilística en la determinación de una cuenca mediante sus parámetros y las características de la red de drenaje. Por esta razón se han buscado relaciones de similitud geométrica entre las características medias de una cuenca y de su red de canales, con otras cuencas.

Una cuenca hidrográfica o cuenca de drenaje de un río es el área limitada por un contorno al interior del cual las aguas de la lluvia que caen se dirigen hacia un mismo punto, denominado salida de cuenca. Es en suma, el área de captación de aguas de un río delimitado por el parteaguas.

La cuenca hidrográfica actúa como un colector natural, encargada de evacuar parte de las aguas de lluvia en forma de escurrimiento. En esta transformación de lluvias en escurrimiento se producen pérdidas, o mejor, desplazamiento de agua fuera de la cuenca debido a la evaporación y la percolación.

Para este tipo de estudios no solamente interesa saber el volumen total a la salida de la cuenca, sino también su distribución espacial y temporal, para lo cual se necesita tener un buen conocimiento de sus características morfométricas. El movimiento del agua en la naturaleza es una función compleja en la cual intervienen diversos factores, entre los cuales se pueden resaltar su clima y sus características fisiográficas

La caracterización morfométrica abarca los aspectos fisiográficos y geomorfológicos más relevantes de la cuenca tales como: pendiente, relieve, escurrimiento, uso del suelo, cobertura vegetal, entre otros, a fin de evaluar e interpretar las características o fenómenos que ocurren en ésta y conocer la variación en el espacio de los elementos del régimen hidrológico.

Esta actividad permite conocer la variación espacial de los aspectos que definen su régimen hidrológico, tales como elongación, forma de la cuenca, compacidad y otras, que influyen directamente en la retención superficial e infiltración.

3.3. Fisiografía y geomorfología de la unidad de cuenca

3.3.1. Área de la unidad de cuenca

El área de la cuenca es probablemente la característica geomorfológica más importante para el diseño. Está definida como la proyección horizontal de toda el área de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido directa o indirectamente a un mismo cauce natural.

Es de mucho interés hacer referencia sobre la determinación de la línea de contorno o de divisoria de la cuenca. Realmente la definición de dicha línea no es clara ni única, pues puede existir dos líneas de divisoria: una para las aguas superficiales que sería la topográfica y otra para las aguas sub-superficiales, línea que sería determinada en función de los perfiles de la estructura geológica, fundamentalmente por los pisos impermeables.

Frecuentemente se desea analizar una cuenca de gran tamaño y muchas veces es necesario dividirla en unidad de cuencas o subsistemas, dependiendo de las metas del estudio del proyecto determinado. El área es un parámetro geomorfológico muy importante. Su importancia radica en las siguientes razones:

- a) Es un valor que se utiliza para muchos cálculos en varios modelos hidrológicos.
- b) Para una misma región hidrológica o regiones similares, se puede decir que a mayor área mayor caudal medio.
- c) Bajo las mismas condiciones hidrológicas, existen cuencas con áreas mayores que producen hidrogramas con variaciones en el tiempo más suaves y más llanas. Sin embargo, en cuencas grandes, se pueden dar hidrogramas picudos cuando la precipitación es intensa y en las cercanías, aguas arriba de la estación de aforo.

Estadísticamente se ha demostrado que el factor "área" es el más importante en las relaciones entre esorrentía y las características de una cuenca. Esto se puede afirmar por el alto valor de los coeficientes de correlación cuando se grafica esorrentía respecto al área. Pero hay otros parámetros que también tienen su influencia en la esorrentía como la pendiente del canal, la pendiente de la cuenca, la vegetación y la densidad de drenaje.

La divisoria de la cuenca se puede delimitar indicando la longitud y latitud de los puntos a lo largo de ésta, asumiendo que entre ellos la línea que los une es una línea recta. El área será entonces, la encerrada por la serie de segmentos así

obtenidos y es calculada por la mayoría de los softwares existentes en el mercado usando los principios de la trigonometría.

La longitud de la cuenca puede estar definida como la distancia horizontal del río principal entre un punto aguas abajo (estación de aforo) y otro punto aguas arriba donde la tendencia general del río principal corte la línea de contorno de la cuenca.

El perímetro de la cuenca o la longitud de la línea de contorno de la cuenca es un parámetro importante, que vinculado con el área refleja información sobre la forma de la cuenca. El ancho de la cuenca se define como la relación entre el área (A) y la longitud de la cuenca (L).

El área es el tamaño de la superficie de la cuenca en km^2 . Se puede obtener a partir de la digitalización por medio el software de Sistema de Información Geográfica (ArcGis), pudiéndose extraer estos parámetros de forma directa de mapas cartográficos.

Se ha comprobado que la relación del área con la longitud de la misma es proporcional y también que está inversamente relacionada a aspectos como la densidad de drenaje y el relieve relativo. Si el área es pequeña, tendrá menor capacidad de captación de aguas y menor volumen (ver cuadro No. 3.2).

Cuadro No. 3.2: Clases de tamaño de Cuencas

Clases de Tamaño de Cuencas (Km²)	
Rangos de áreas	Clases de tamaño
12.5 – 35	Muy pequeña
35.5 – 58	Pequeña
58.8 - -81	Mediana
81.5 - -103.5	Grande

Fuente: INETER

De acuerdo al cuadro anterior, la unidad de cuenca río Ciudad Antigua; según esta referencia; se cataloga como unidad de cuenca grande por lo que presenta gran capacidad de coleccionar agua. Conociendo el área de la unidad de cuenca se puede hablar de su forma a través del Coeficiente de Compacidad (Kc) y el Factor de forma (Kf).

De acuerdo a la salida del flujo se clasifica de tipo exorreica, lo que indica que sus aguas son vertidas a otro río o cuerpo superficial para finalmente desembocar al mar u océano. En este caso el río de Ciudad Antigua drena sus aguas hacia el río Coco de forma permanente y presencia de escurrimiento todo el año; la red de drenaje se caracteriza por ríos de régimen permanente, intermitente y presencia de canales.

3.3.2. Coeficiente de Compacidad (Kc)

El índice de Compacidad puede ser calculada mediante la fórmula siguiente:

$$K_c = \frac{P \text{ (Km)}}{A \text{ (Km}^2\text{)}^{0.5}} * 0.28$$

Donde:

Kc: Índice de Gravelius

P: Perímetro de la cuenca (km)

A: Área de la cuenca (km²)

Este valor adimensional, independiente del área estudiada tiene por definición un valor de 1 para cuencas imaginarias de forma exactamente circular. Los valores de Kc nunca serán inferiores a 1.

El grado de aproximación de este índice a la unidad (1) indicara la tendencia a concentrar fuertes volúmenes de aguas de escurrimiento, siendo más acentuado cuanto más cercano sea a la unidad, lo cual quiere decir que entre más bajo sea Kc, mayor será la concentración de agua. En el siguiente cuadro (No. 3.3) se muestra las clases de compacidad de cuenca según sea el valor de Kc.

Cuadro No. 3.3: Clases de valores del Índice de Compacidad

Clases de valores de Compacidad	
Rangos de Kc	Clases de Compacidad
1.25	Redonda a oval redonda
1.25 – 1.50	De oval redonda a oval oblonga
1.50 - más	De oval oblonga a rectangular oblonga

Fuente: INETER

3.3.3. Rectángulo equivalente

Supone la transformación geométrica de la cuenca real en una superficie rectangular de lados LM (mayor) y Lm (menor) del mismo perímetro, de tal forma que las curvas de nivel se convierten en rectas paralelas a los lados menores del rectángulo (lm). Esta cuenca teórica tendrá el mismo Coeficiente de Gravelius y la misma distribución actitudinal de la cuenca original.

El cálculo del lado mayor y lado menor del rectángulo equivalente se realiza con las siguientes ecuaciones:

$$LM = (Kc \cdot \sqrt{A}) / 1.12 [1 + \sqrt{1 - (1.12/Kc)^2}]$$

$$Lm = (Kc \cdot \sqrt{A}) / 1.12 [1 - \sqrt{1 - (1.12/Kc)^2}]$$

Donde:

LM= Lado mayor del rectángulo en km

Lm = Lado menor del rectángulo en km

Kc = coeficiente de Gravelius

A= superficie de la cuenca en km²

3.3.4. Factor de Forma

El factor de forma relaciona la forma de la cuenca con la de un cuadrado, correspondiendo un $F_c = 1$ para regiones con esta forma fácilmente, que es imaginaria. Un valor de F_c superior a la unidad nos proporciona el grado de achatamiento de la cuenca o de un río principal corto. En consecuencia, con tendencia a concentrar el escurrimiento de una lluvia intensa formando fácilmente grandes crecidas. (Ver cuadro No. 3.4).

Cuadro No. 3.4: Clases de valores de Factor de Forma

Clases de Valores de Factor de Forma	
Rangos de F_c	Clases de forma
0.01 – 0.18	Muy poco achatada
0.18 – 0.36	Ligeramente achatada
0.36 – 0.54	Moderadamente achatada

Fuente: INETER

3.3.5 Relieve

El relieve de la cuenca es variado. Está formado por las montañas y sus flancos por las quebradas, valles y mesetas. El relieve es el comportamiento accidentado del terreno. Las cuencas pueden denominarse: Cuencas planas, cuencas de alta montaña y cuencas accidentadas o quebradas.

El relieve es un factor importante en el comportamiento de la cuenca, ya que cuantos mayores son los desniveles en la cuenca, mayor es la velocidad de circulación y menor el tiempo de concentración, lo que implica un aumento del caudal de punta.

3.3.6. Elevaciones

Mediante las elevaciones presentes en la unidad de cuenca, el área entre curvas se puede obtener apoyados con el programa ArcGis On Mapa de la elevación. Así mismo el determinar las áreas entre curvas de niveles permite calcular el coeficiente de compacidad, la pendiente media de la cuenca, la curva hipsométrica y los polígonos de frecuencia.

3.3.7. Pendiente media

La elevación promedio en una cuenca tiene especial interés en zonas montañosas, porque puede dar una idea de la climatología de la región, basándonos en un patrón general climático de la zona. La elevación promedio está referida al nivel del mar. Este valor puede ser encontrado usando la curva hipsométrica o el histograma de frecuencias altimétricas. La estimación por una media aritmética ponderada en el caso del histograma, o de la curva hipsométrica calculando el área bajo la curva y dividiéndola por el área total.

La altura media es la elevación promedio referida al nivel de la estación de aforo de la desembocadura de la cuenca.

Este parámetro es de importancia pues da un índice de la velocidad media de la escorrentía y su poder de arrastre y de la erosión sobre la cuenca.

Uno de los métodos más representativos para el cálculo es el muestreo aleatorio por medio de una cuadrícula; llevando las intersecciones de la cuadrícula sobre el plano topográfico y calculando la pendiente para todos puntos arbitrariamente escogidos. Con todos estos valores se puede construir un histograma de pendientes que permite estimar el valor medio y la desviación estándar del muestreo de las pendientes.

Las pendientes para los puntos dados por las intersecciones de la cuadrícula se calculan teniendo en cuenta la diferencia de las dos curvas de nivel entre las cuales el punto queda ubicado y dividiéndola por la distancia horizontal menor entre las dos curvas de nivel, pasando por el punto ya determinado.

La pendiente media de la unidad de cuenca se obtiene partir de las áreas de las curvas. Para ellos se obtiene la pendiente de cada área entre curvas, las cuales se suman y forman la pendiente media de la unidad de cuenca.

3.3.8. Curva hipsométrica

Esta curva representa el área drenada variando con la altura de la superficie de la cuenca. También podría verse como la variación media del relieve de la cuenca.

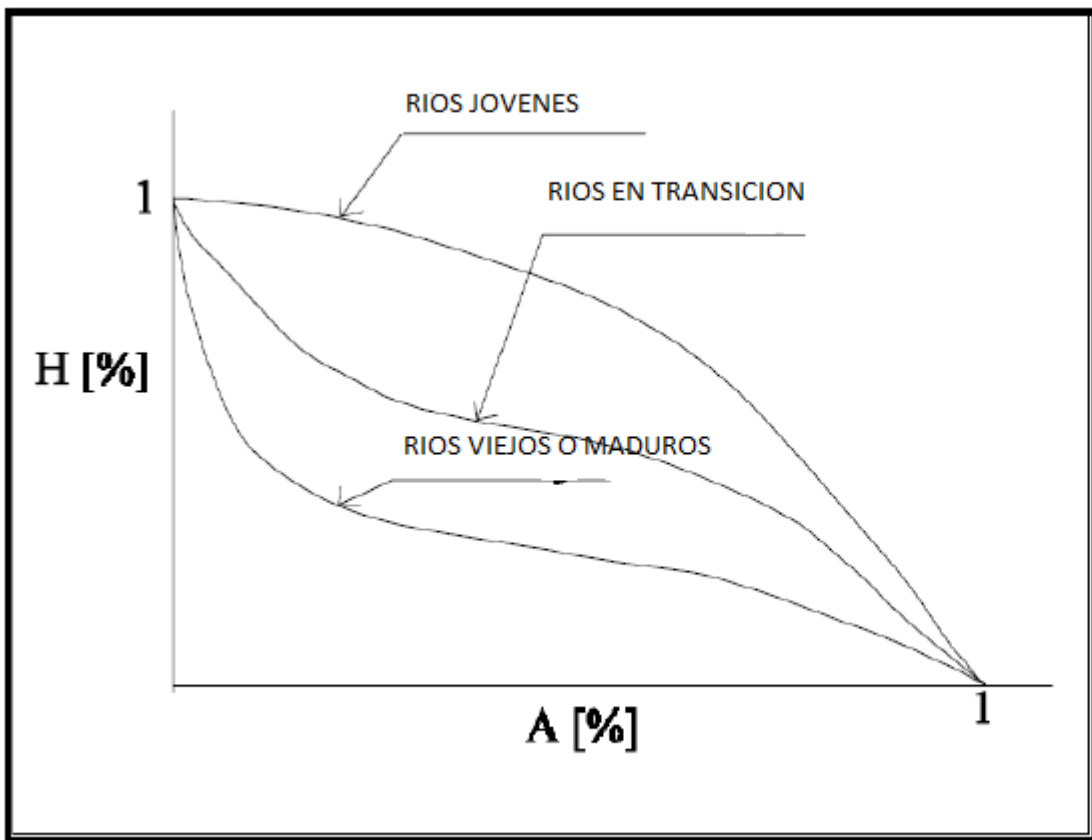
La curva hipsométrica se construye llevando al eje de las abscisas los valores de la superficie drenada proyectada en km^2 o en porcentaje, obtenida hasta un determinado nivel, el cual se lleva al eje de las ordenadas, generalmente en metros (ver gráfico No. 3.5). Normalmente se puede decir que los dos extremos de la curva tienen variaciones abruptas. La función hipsométrica es una forma conveniente y objetiva de describir la relación entre la propiedad altimétrica de la cuenca en un plano y su elevación.

Es posible convertir la curva hipsométrica en función adimensional usando en lugar de valores totales en los ejes, valores relativos: dividiendo la altura y el área por sus respectivos valores máximos.

La curva hipsométrica es la representación gráfica de la variación altitudinal de una cuenca y se obtiene a partir de un plano topográfico, tomándose los valores en porcentajes del área que están por debajo de una determinada altura, que inicialmente serán la del punto más bajo de la cuenca e irá aumentando de acuerdo a los valores de las cotas de la curva de nivel que encierra las franjas de terreno por ellas definidas y el punto de salida que es generalmente el sitio más bajo de la cuenca. Se divide en tres zonas

- 1.-Zona donde predomina la producción de sedimentos (Ríos jóvenes).
- 2.- Zona donde predomina el transporte de material (Ríos maduros)
- 3.- Zona caracterizada por la deposición de sedimentos (Ríos en etapa de vejez).

Gráfico No. 3.5: Curva Hipsométrica



Fuente: INETER

3.3.9. Polígonos de Frecuencia Altitudes

Se obtiene representando sobre el eje de las ordenadas el porcentaje de superficie total de la cuenca comprendida entre las dos curvas de nivel consecutivas.

3.3.10. Red de Drenaje

La forma en que estén conectados los canales en una cuenca determinada, influye en la respuesta de ésta a un evento de precipitación. Se han desarrollado una serie de parámetros que tratan de cuantificar la influencia de la forma del drenaje en la escorrentía superficial directa. El orden de los canales es uno de ellos. Uno de los criterios para determinar el orden de los canales en una cuenca es el definido por el modelo de STRAHLER. Según este modelo se toman como canales de primer orden todos aquellos que no tengan afluentes. Cuando se unen dos canales de primer orden forman un canal de segundo orden y así sucesivamente

Se denomina parte aguas a la línea imaginaria que delimita una cuenca, unidad de cuenca o micro cuenca. Red de drenaje es el conjunto de cuerpos de agua que se encuentran dentro del parte agua. Entre los elementos que forman parte de la red son las corrientes efímeras e intermitentes, lagos, lagunas, zonas húmedas y canales.

3.3.11. Densidad de Drenaje

La densidad de drenaje, es un parámetro que indica la posible naturaleza de los suelos, que se encuentran en la unidad hidrológica. También da una idea sobre el grado de cobertura que existe en ella. Valores altos de drenaje, representan zonas con poca cobertura vegetal, suelos fácilmente erosionables o impermeables. Por el contrario, valores bajos, indican suelos duros, poco erosionables o muy permeables y coberturas vegetales densas.

La vegetación en las cuencas hidrográficas tiene una fuerte influencia en el régimen hidrológico de la misma, pues está relacionado con la erosión, temperatura y evaporación de la región.

El coeficiente de cubrimiento de bosques se refiere al porcentaje de la superficie de la cuenca ocupada por bosques o por otro tipo de vegetación. Este valor es importante pues en la comparación de cuencas no es lo mismo cuencas urbanas o agrícolas o de bosques naturales densos o claros.

Aunque el coeficiente mencionado en último término no se podría denominar como un parámetro geomorfológico, sí es interesante citarlo por la importancia que tiene en el manejo de una cuenca.

La Densidad de drenaje (Dd) varía inversamente con la extensión de la cuenca. Con el fin de catalogar una cuenca bien o mal drenada, analizando su densidad de drenaje, se puede considerar que valores de Dd próximos a 0.5 km/km² o mayores indican la eficiencia de la red de drenaje. Valores altos de densidad de drenaje indican mayor eficiencia de transporte y mayor velocidad de transporte.

La densidad de drenaje se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$Dd = \frac{Li \text{ (Km)}}{At \text{ (Km}^2\text{)}}$$

Donde:

Li: Longitud total de todos los ríos y/o cursos (km)

At: Área total de la cuenca (km²)

En el cuadro siguiente se orienta la clasificación de la densidad de drenaje según sea el rango.

Cuadro No. 3.5: Clases de Densidad de Drenaje

Clases de Densidad de Drenaje	
Rangos de densidad	Clases
0.1 - 1.8	Baja
1.9 – 3.6	Moderada
3.7 – 5.6	Alta

Fuente: INETER

3.3.12. Longitud del cauce Principal

La longitud del cauce principal es la distancia entre la desembocadura y el nacimiento del río. La longitud máxima o recorrido principal de la cuenca es la distancia entre el punto de desagüe y el punto más alejado de la salida de la cuenca, siguiendo la dirección de drenaje. El recorrido principal, es la máxima distancia recorrida por el flujo de agua dentro de la cuenca.

3.3.13. Numero de escurrimiento

Es la cantidad de afluentes naturales de la cuenca. Constituye una medida de la energía de la cuenca, de la capacidad de captación de aguas y de la magnitud de la red fluvial. Un mayor número de escurrimiento proporciona un mejor drenaje de la cuenca y por lo tanto, favorece el escurrimiento.

Los valores del número de escurrimiento se presentan en el siguiente cuadro:

Cuadro No. 3.6: Clases de valores del número de Escurrimiento

Clases de valores del número de Escurrimiento	
Rangos de escurrimiento	Clases
0 – 170	Bajo
171 – 340	Medio
341 – 510	Alto

Fuente: INETER

El número de escurrimiento de la se obtiene con la siguiente ecuación:

$$Es = \frac{\text{Area (Km}^2\text{)}}{4 * Li (Km)}$$

Donde:

A: Área de drenaje de la cuenca (km²)

Li: Longitud de todos los ríos que comprende la cuenca (km)

3.3.14. Pendiente media del río principal

La pendiente media del cauce se puede estimar por diferentes métodos, uno de ellos es el de los valores extremos, el cual consiste en determinar el desnivel entre los puntos más elevado y más bajo de río en estudio y luego dividirlo entre la longitud del mismo cause. El siguiente cuadro muestra las clases de pendiente según sea el valor de esta.

Cuadro No. 3.7: Clases de valores de pendiente

Clases de valores de pendiente (m/m)	
Rangos de Pendiente.	Clases
0.01 – 0.05	Suave
0.06 – 0.11	Moderada
0.12 – 0.17	Fuerte

Fuente: INETER

3.3.15. Tiempo de concentración

El tiempo que demora en viajar una partícula de agua desde el punto más remoto hasta el punto de interés. Corresponde al lapso entre el final de la lluvia y el momento en que cesa el escurrimiento superficial. A mayor tiempo de concentración, mayor es el volumen de agua. También puede indicar un mayor escurrimiento. El cuadro No. 3.9 muestra las clases de tiempo de concentración según sea el valor de este último.

Cuadro No. 3.8: Clases de Tiempo de Concentración

Clases de Tiempo de Concentración (min)	
Rangos de Tc	Clases
0 – 41.7	Rápido
41.6 – 83.2	Moderado
83.3 – 125.1	Lento

Fuente: INETER

El tiempo de concentración se determina mediante el desarrollo de la siguiente ecuación, su resultado estará en minutos.

$$T_c = 0.0041 * K t^{0.77}$$

$$K_t = 3.28 * (L_r / S^{0.5})$$

Donde:

L: Longitud del cauce principal en m

Tc: tiempo de Concentración en minutos.

S: pendiente

3.4. Balance hídrico

Para realizar un balance hídrico superficial es necesario conocer no solo los procesos o caminos que sigue el agua en el suelo, sino también las características fisiográficas, edafológicas y biológicas del lugar en los cuales ellos se desarrollan; por eso, una evaluación precisa del balance hídrico está

estrechamente ligada con la cantidad y calidad de la información disponible y, en particular, de la red de estaciones y número de años de sus registros.

3.4.1. Sistemas de información geográficos

La información cartográfica comprende la convencional obtenida en el campo, y los derivados de la percepción remota (fundamentalmente cobertura del terreno, relieve y suelos, acuíferos), también verificados en campo. La cartografía de los recursos naturales se ve estrechamente ligada al desarrollo de las tecnologías de prospección e inventario mediante la percepción remota (o teledetección) y de posicionamiento global satelital; que hoy en día con el avance de la tecnología se ve favorecida con el uso de la plataforma de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) que agilizan el proceso de ingreso, almacenamiento, cálculo y análisis de datos geográficos para generar información temática adecuada y precisa; con el propósito de convertir datos en información apta para la toma de decisiones.

3.4.2. Información hidrometeorológica

El período para el cálculo del balance de agua está directamente condicionado por la superficie y topografía del área, los parámetros hídricos que se deciden analizar para tipificar el fenómeno, los datos realmente factibles de obtener en las redes de estaciones y la disponibilidad de información simultánea en toda el área.

Un balance puede ser realizado para distintos períodos (horas, días, meses, estaciones del año, años). Los balances medios de agua se realizan en forma anual, permitiendo de esta manera minimizar el cálculo del término de variación de almacenamiento, reduciendo la ecuación general del Balance Hídrico.

La evaluación de los recursos hídricos de una cuenca requiere de una estimación correcta del balance hidrológico, es decir, comprender el ciclo en sus diferentes fases, la forma en que el agua que se recibe por precipitación y se reparte entre el proceso de evapotranspiración, escorrentía e infiltración.

3.4.3. Cálculo del balance hídrico

La ecuación de Balance Hidrológico es una expresión muy simple, aunque la cuantificación de sus términos es normalmente complicada por la falta de mediciones directas y por la variación espacial de la evapotranspiración, de las pérdidas profundas (en acuíferos) y de las variaciones del agua almacenada en la cuenca (Llorens, 2003).

En general se puede afirmar que del agua que cae en un determinado sitio (P), una parte vuelve a la atmósfera ya sea por evaporación directa o por transpiración de la vegetación (ETR) y otra parte escurre por la superficie de la cuenca (ES).

Este escurrimiento, fluye a través de la red de drenaje hasta alcanzar los cauces principales y finalmente el mar, y el resto se infiltra en el terreno y se incorpora al sistema de aguas subterráneas o acuífero (I).

Estas magnitudes intervienen en la siguiente ecuación que se conoce con el nombre de Balance Hidrológico (La fórmula general del Balance Hidrológico):

$$P = ETR + ES + I$$

Donde:

P: Precipitación (mm)

ETR: Evapotranspiración Real (mm)

ES: Escorrentía (mm)

I: Infiltración (mm)

Del Balance Hidrológico, se puede conocer el estado de humedad de la cuenca, la cual está asociado al aporte de precipitación recibida y descontando las pérdidas generadas y permite la condición de clasificar el tipo de año (húmedo, normal o seco). Esto permitirá planificar el recurso hídrico, en base a las demandas.

3.4.4. Parámetros del balance hídrico

Precipitación:

La precipitación constituye la principal entrada de agua dentro del Ciclo Hidrológico, y varía tanto espacial como temporalmente en una cuenca y unidad de cuenca. Es el agua que cae en una zona determinada que se delimita como cuenca o unidad de cuenca y puede ocurrir como lluvia, neblina, nieve, rocío, etc. La medición de la lluvia se realiza en las estaciones climáticas a través de instrumentos llamados pluviómetros y es uno de los datos necesarios para el balance que con mayor frecuencia se encuentran disponibles, si bien puede variar la periodicidad y confiabilidad de éstos dependiendo del método de medición y de la permanencia de las estaciones climáticas a través del tiempo.

Se elaboran las isoyetas de precipitación promedio anual característico para la cuenca, así como también se hace un análisis de la relación entre precipitación y temperatura promedio mensual a través del año. La información de los mapas de isoyetas mensuales y anuales, permite calcular la precipitación media areal de las cuencas, con los que se inicia el cálculo de los parámetros del Balance Hídrico.

Valoración de la Temperatura:

Esta variable juega un papel importante, ya que interviene en todos los métodos empíricos y por lo general junto con la precipitación son las únicas que se pueden encontrar en las estaciones meteorológicas con plena seguridad. Su análisis contempla su homogenización y caracterización térmica de la zona en estudio.

Evapotranspiración:

La evapotranspiración es la cantidad de agua que retorna a la atmósfera, tanto por transpiración de la vegetación como por evaporación del suelo. Su magnitud depende del agua realmente disponible, es decir la que el suelo ha logrado

retener para el consumo de la vegetación, así como la que ha sido interceptada por ésta.

Los valores de intercepción de la precipitación por la cobertura vegetal, varían en función de la composición del bosque, sus características y ubicación. Un rango de valores medios de intercepción expresada como porcentaje de la lluvia total, generalmente aceptado para los bosques 15% a 40%.

La determinación de este parámetro, es de difícil cuantificación, sobre todo por la ausencia de estaciones que permitan medir este parámetro en el campo, por lo que resulta necesario deducir, en primer lugar, el valor de la evapotranspiración potencial (ETP) mediante fórmulas empíricas.

Aunque la evapotranspiración es el segundo término en importancia en un balance hidrológico, después de la precipitación, o el primero en zonas áridas y semiáridas; en la actualidad no existe una metodología para medirla a escala de cuenca, por lo que se estima a partir de la utilización de diferentes modelos. La dificultad de la modelación de la evapotranspiración radica en representar los procesos y factores que la determinan de una manera simple.

Evapotranspiración Real:

El suministro de humedad a la superficie de evaporación es un factor determinante en la evapotranspiración. A medida que el suelo se seca, la tasa de evaporación cae por debajo del nivel que generalmente mantiene en un suelo bien humedecido. Es esta evapotranspiración que depende de la cantidad de humedad existente en el suelo, la que se denomina Evapotranspiración Real.

La evapotranspiración real es inferior a la evapotranspiración potencial para los siguientes factores:

- ✓ Falta de agua en algunos períodos.
- ✓ Variación de la evapotranspiración según el desarrollo de la planta.

- ✓ Variaciones de las condiciones atmosféricas como la humedad, la temperatura, etc.

Infiltración:

La infiltración es el volumen de agua procedente de las precipitaciones que atraviesa la superficie del terreno y ocupa total o parcialmente los poros del suelo y del subsuelo.

Entre los factores que afectan la capacidad de infiltración tenemos:

- ✓ Entrada superficial: La superficie del suelo puede estar cerrada por la acumulación de partículas que impidan o retrasen la entrada de agua al suelo.
- ✓ Transmisión a través del suelo: El agua no puede continuar entrando en el suelo con mayor rapidez que la de su transmisión hacia abajo, dependiendo de los distintos estratos.
- ✓ Acumulación en la capacidad de almacenamiento: El almacenamiento disponible depende de la porosidad, espesor del horizonte y cantidad de humedad existente.
- ✓ Características del medio permeable: La capacidad de infiltración está relacionada con el tamaño del poro y su distribución, el tipo de suelo (arenoso, arcilloso), la vegetación, la estructura y capas de suelos.
- ✓ Características del fluido: La contaminación del agua infiltrada por partículas finas o coloides, la temperatura y viscosidad del fluido, y la cantidad de sales que lleva.

Para determinar el cálculo de la precipitación que se infiltra mensualmente (P_i) al suelo, viene dado por la expresión algebraica siguiente:

$$P_i = (C_i) * (P - R_{et})$$

Donde:

Pi: Precipitación que infiltra mensualmente al suelo (mm/mes)

Ci: Coeficiente de infiltración (adimensional)

P: Precipitación mensual en (mm/mes)

Ret: Retención de lluvia mensual por follaje en (mm/mes)

Por lo general, en la ecuación del Balance Hídrico, y dependiendo de la escala temporal del análisis (anual), este valor se asume que su variabilidad es mínima y puede ser considerada cero.

Escorrentía superficial o caudal:

Para el aprovechamiento del recurso hídrico, es necesario conocer en un punto dado o en la salida de la cuenca, el caudal disponible a partir de las precipitaciones. El problema es aparentemente simple en su presentación, pero de una solución en muchos casos compleja, para ello se han ideado una serie de metodologías que van desde las más simples a las más complejas, como: isolíneas de escorrentía, caudales específicos, generación por modelos de simulación precipitación – escorrentía, etc.

Para cuencas con características fisiográficas, cobertura vegetal y comportamiento hidrológico similar, se puede estimar el caudal específico en función de la siguiente expresión:

$$Q = A \cdot P$$

Donde:

Q: Caudal a estimar en la cuenca en m³/s

A: Área de la cuenca en Km²

P: Precipitación en mm

Para el análisis y estimación de caudales en las unidades de cuencas se ha tenido en cuenta esta ecuación, la cual se considera como la más adecuada, ya que no solo relaciona área y caudal sino que también relaciona el aporte pluviométrico de las cuencas.

El agua de las precipitaciones que no es evaporada ni infiltrada, escurre superficialmente en forma de escorrentía directa que es el agua que llega directamente a los cauces superficiales en un periodo corto de tiempo tras la precipitación, y que engloba la escorrentía superficial y la sub-superficial (agua que tras un corto recorrido lateral sale a la superficie sin llegar a la zona freática). Escorrentía basal que es la que alimenta a los cauces superficiales en época de estiaje.

Una vez estimados los volúmenes de agua que se infiltran mensualmente en cada unidad de cuenca, se establece que el agua restante es la que va a escurrir superficialmente, lo que se denomina caudal o escurrimiento superficial.

Para el cálculo de la escorrentía anual (mm) en la unidad de cuencas se utiliza la expresión matemática que relaciona el caudal y el área de drenaje.

Su fórmula es:

$$E = \frac{31,536 * Q}{A}$$

Donde:

E: Escorrentía en mm

Q: Caudal en m³/s

A: Área de drenaje km²

Con la cuantificación de cada una de las variables identificadas en la ecuación del Balance Hídricos y dependiendo de la escala temporal de análisis, se tendrían así las expresiones siguientes:

Cuando el balance hídrico superficial se realiza a nivel mensual y multianual, el término correspondiente al cambio de almacenamiento (S) se considera que toma el valor de 0, debido a que la variabilidad del agua almacenada en la cuenca en períodos largos no experimenta cambios significativos.

Teniendo en consideración la aseveración anterior, la expresión algebraica del Balance Hídrico queda como:

$$Es = P - ETR$$

Donde:

Es: Escorrentía superficial en mm.

P: Precipitación media del período en mm.

ETR: Evapotranspiración real media del período en mm.

Para áreas con control hidrométrico, se utiliza la siguiente expresión:

$$P = Es + ETR$$

Donde:

P: Precipitación media del período en mm.

Es: Escorrentía del período en mm.

ETR: Evapotranspiración real media del período en mm.

En áreas sin control hidrométrico, el Balance hídrico es determinado mediante la siguiente ecuación:

$$Es = P - ETR$$

3.4.5. Métodos para el cálculo de la evapotranspiración potencial

Método de Thornthwaite:

Thornthwaite introdujo el término evapotranspiración potencial (ETP) para expresar "la cantidad de agua que perderá una superficie completamente cubierta de vegetación en crecimiento activo si en todo momento existe en el suelo humedad suficiente para su uso máximo por las plantas".

Para el cálculo de la ETP de un mes determinado, se debe corregir la ETP mediante un coeficiente que tenga en cuenta el número de días del mes y horas de luz de cada día, en función de la latitud. Para lo cual se introduce el índice de iluminación mensual en unidades de 12 horas, que deberá multiplicar a la ETP para obtener la ETP final o corregida, según Thornthwaite (mm/mes).

Cálculo de la ETP Evapotranspiración potencial mensual (mm):

$$ETP = 16 \times (10 T / I)^a$$

Donde:

I: índice de calor anual, (suma de los 12 valores del índice de calor mensual, i)

$$I = (T / 5)^{1.514}$$

T: temperatura media mensual en °C.

a: función del índice de calor anual (I), que simplificado equivale a 0,016 elevado a 0,5

a, se calcula como:

$$a = 0,000000675 \times I^3 - 0,0000771 \times I^2 + 0,01792 \times I + 0,49239$$

$$\text{ETP (corregida)} = \text{ETP} \times L \text{ (mm/mes)}$$

Donde:

ETP: Evapotranspiración mensual en mm

L: Factor de corrección del número de días del mes (Ndi) y la duración astronómica del día Ni (horas de sol)

$$L_i = N_{di}/30 \times N_i/12 \text{ (Tablas de L mensuales por latitud).}$$

Método de Hargreaves:

La fórmula de Hargreaves (Hargreaves y Samani, 1985) para evaluar la Evapotranspiración Potencial necesita solamente datos de temperaturas y de radiación solar.

La expresión general es la siguiente:

$$\text{ETP} = 0,0135 (t_{med} + 17,78) R_s$$

Donde:

ETP: Evapotranspiración potencial diaria, mm/día

Tmed: Temperatura media, °C

Rs: Radiación solar incidente, convertida en mm/día

La radiación solar incidente, Rs, se evalúa a partir de la radiación solar extraterrestre Ro, cuyos datos se extraen de tablas en función de la latitud del lugar y del mes. Para la determinación de la Rs, Samani propuso la siguiente fórmula:

$$R_s = R_o * K_T * (t_{max} - t_{min})^{0.5}$$

Donde:

Rs: Radiación solar incidente

Ro: Radiación solar extraterrestre (tabulada)

KT: Coeficiente

Tmax: Temperatura diaria máxima

Tmin: Temperatura diaria mínima

Puesto que los valores de Ro están tabulados y las temperaturas máximas y mínimas son datos empíricos relativamente fáciles de obtener, la dificultad para aplicar esta sencilla expresión se encuentra en el coeficiente KT.

Para evaluar la Radiación Solar Extraterrestre (Ro) existen varias tablas, todas ellas en función de la latitud y del mes.

El coeficiente KT es un coeficiente empírico que se puede calcular a partir de datos de presión atmosférica, pero Hargreaves recomienda $KT = 0,162$ para regiones del interior y $KT = 0,19$ para regiones costeras.

Fórmula simplificada:

Sustituyendo del valor de Rs en la expresión inicial, y tomando para el coeficiente KT el valor medio de 0.17, resulta la expresión citada con más frecuencia en la bibliografía:

$$ETP = 0.0023 (t_{med} + 17.78) R_o * (t_{max} - t_{min})^{0.5}$$

Donde:

ETP: Evapotranspiración potencial diaria, mm/día

tmed: Temperatura media diaria, °C

Ro: Radiación solar extraterrestre, en mm/día (tabulada)

tmax: Temperatura diaria máxima

tmin: Temperatura diaria mínima

Método budyko:

Consiste en determinar los caudales en el área de estudio, con un método directo y empírico, usando la relación precipitación-escorrentía, que toma en cuenta los parámetros de la precipitación areal y evapotranspiración de la unidad de estudio. La expresión propuesta por Budyko es la siguiente:

$$A_T = P_T e^{\left(-0,79 \frac{ETP}{P_T}\right)}$$

Donde:

A_T : Escorrentía total anual en mm

P_T : Precipitación total anual en mm

ETP: Evapotranspiración anual potencial o real en mm

El caudal medio anual se determina considerando la escorrentía anual y la superficie de la cuenca, mediante la siguiente expresión:

Caudal medio (m³/s): Escorrentía (mm) x Superficie (km²) x 3.17x10⁻⁵

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA

4.1. Recopilación de Información

La etapa preliminar consiste en la recopilación de información de estudios realizados por instituciones: INETER, ALCALDIA, ENACAL y MAGFOR; información bibliográfica y exploración en INTERNET. Los datos que se investigaron están relacionado con la hidrodinámica, climatología, hidrología y geomorfología de la unidad de cuenca en estudio.

Se establecen reuniones técnicas durante todo el proceso de elaboración del proyecto. Esta etapa sirve para establecer la etapa de recolección de información y datos de campo sobre diferentes parámetros hidrológicos de la unidad de cuenca

El software Arcview GIS, es un sistema que provee las herramientas de escritorio necesarias para manejar la información geográfica de una manera fácil y dinámica, para un mejor análisis. Dicho programa permite la posibilidad de visualizar datos de formato Arc/Info (Coberturas, Grid) e importar datos en formato de tablas para unirlos a una vista y poder visualizarlos en forma geográfica.

4.2. Determinación de los parámetros morfológicos

La caracterización de los aspectos hidrográficos y morfológicos de la unidad de cuenca se hará mediante el cálculo y valorización de los siguientes parámetros:

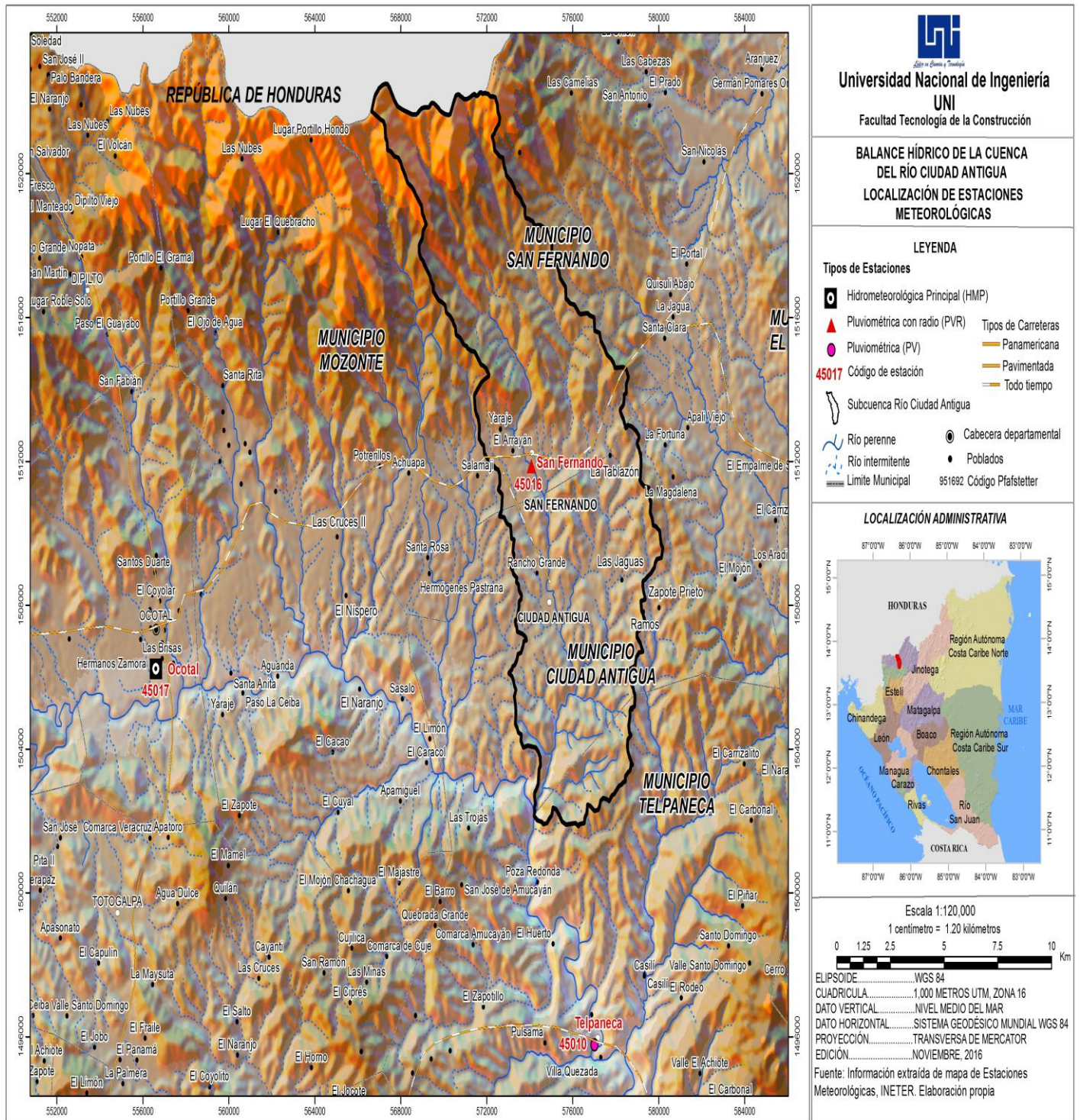
- ✓ Área de la unidad de cuenca,
- ✓ Perímetro,
- ✓ Forma de la cuenca,
- ✓ Índice de compacidad o de Gravelius,
- ✓ Índice de pendiente,

- ✓ Altitud media,
- ✓ Rectángulo equivalente,
- ✓ Densidad de drenaje,
- ✓ Polígono de frecuencia,
- ✓ Número de escurrimiento,
- ✓ Índice de alargamiento,
- ✓ Curva hipsométrica,
- ✓ Longitud del río principal y su altitud media,
- ✓ Tiempo de concentración.

4.3. Caracterización climática de la unidad de cuenca

Para la caracterización de los parámetros climáticos de la zona de estudio se utilizarán estadísticas de INETER sobre parámetros de precipitación, temperatura y humedad, obtenidas de estaciones meteorológicas existentes en la zona de estudio. En el gráfico siguiente se detallan las estaciones meteorológicas utilizadas en esta investigación.

Figura No. 4.1: Ubicación de las estaciones meteorológicas en la zona de estudio



Fuente: Elaboración propia

4.4. Calculo del balance hídrico aplicando el método de Budyko

4.4.1. Análisis de la Precipitación.

Para el cálculo de la precipitación areal, se realizará con el método del polígono de Thiessen, este método se basa en ponderar el valor de la variable climática (Precipitación) en cada estación en función de un área de influencia. El procedimiento asume que en el área de influencia, definida por la poligonal, ocurre el valor de lluvia representativo de las estaciones meteorológicas pertenecientes al polígono.

4.4.2. Estimación de la Evapotranspiración Potencial

El método de Hargreaves es el que se aplicará para obtener la evapotranspiración Potencial (ETP), este método utiliza valores medios en función de las variables climatológicas de temperatura y humedad relativa, duración del día en función de la latitud. Se considera que este método es adecuado y fue adaptado para zonas de Clima Tropical, y se adapta a las condiciones climáticas de nuestro país.

4.4.3 Estimación del balance hídrico

Partiendo de la ecuación de continuidad, que es el fundamento para realizar un balance hídrico, que permite estimar la disponibilidad de agua en unidades hidrológicas, y conociendo previamente las componentes de precipitaciones y evapotranspiración mensual, se estima la escurrimiento superficial, a partir de la aplicando la ecuación general:

$$P = ETR + I + E + \Delta S$$

Estas variables son las siguientes:

P: Precipitación en mm

ETR: Evapotranspiración Real en mm

I: Infiltración en mm

E: Escorrentía en mm

ΔS : Cambio en el almacenamiento

Tomando en cuenta que el cambio en el almacenamiento y la Infiltración, son despreciables; para períodos bastantes largos. Simplificando la ecuación queda de la siguiente manera:

$$P = ETR + E$$

Despejando, queda la escorrentía:

$$E = P - ETR$$

4.4.4. Escurrimiento Superficial

La finalidad del cálculo del balance hídrico superficial es estimar la cantidad de agua que interviene en el ciclo hidrológico dentro de una zona (cuencas o unidades hidrológicas) de interés.

La escorrentía (diferencia entre la precipitación áreal y la evapotranspiración real) se calcula mediante el modelo de Precipitación – Escurrimiento propuesto por el Budyko (1948), calibrada, mediante análisis de regresión multivariable sobre las series temporales de caudales aforados disponibles en España, que tiene la siguiente expresión:

$$A_T = P_T e^{\left(-0,79 \frac{ETP}{P_T}\right)}$$

Donde:

A_T : Escorrentía total anual en mm

P_T : Precipitación total anual en mm

ETP: Evapotranspiración anual en mm

La esorrentía anual (mm) sobre la cuenca (superficie en km²) se convierte en caudal medio anual (m³/s), utilizando la siguiente expresión:

Caudal medio (m³/s): Esorrentía (mm) x Superficie (km²) x 3.17x10⁻⁵.

CAPÍTULO V: CÁLCULOS Y RESULTADOS

5.1 Determinación de los parámetros morfológicos

5.1.1. Área y perímetro

En referencia a la unidad hidrológica del río Ciudad Antigua, es un río tributario del río Coco código No. 45; nace en la Cordillera de Dipilto a una elevación de 1,500 msnm, posee una forma rectangular alargada, limita al norte con el territorio de Honduras, al Sur con Telpaneca, al Este con las unidades hidrográficas de los ríos Achuapa y Salamají y al Oeste con la del río Susucayán.

La unidad hidrológica tiene una superficie de 115.30 km² (11,530 ha) y un perímetro de 65.40 km, ambos parámetros se obtiene a partir de la digitalización de la unidad hidrográfica con el apoyo del software de Sistema de Información Geográfica (SIG), obteniéndose de forma directa el área en km² y el perímetro en km.

5.1.2. Densidad de Drenaje

La densidad de drenaje se determina median la aplicación de la siguiente ecuación:

$$Dd = \frac{Li \text{ (Km)}}{A \text{ (Km}^2\text{)}}$$

Donde:

Dd: Densidad de drenaje (km/km²)

Li: Longitud Total de todos los cursos tramos de ríos (km)

A: Área de la cuenca (km²)

$$Dd = \frac{216.77 (Km)}{115.30 (Km^2)}$$

$$Dd = 1.88 km / km^2$$

La red drenaje se caracteriza por estar compuesta por corrientes de ríos de régimen permanente e intermitente. El total de cauces o números de ríos de la unidad hidrológica es de 216.77 km, tomando en cuenta el área de drenaje de la unidad de cuenca 115.30 km² se obtiene un valor de la densidad de drenaje que es 1.88 de km/km². Se puede considerar que valores mayores 0.5 km/km² indican la eficiencia de la red de drenaje. La densidad de drenaje de la unidad de cuenca se clasifica como moderada (rangos entre 1.9 y 3.6 km/km²).

5.1.3. Pendiente Media de la cuenca

Para el cálculo de la pendiente media de la cuenca (I_p) se obtiene primero la pendiente de cada área entre curvas de nivel dentro de la unidad de cuenca (S_i), las cuales posteriormente se suman ($\sum S_i$).

$$I_p = \sum S_i = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 + S_6$$

$$I_p = \sum S_i = 0.0172 + 0.030 + 0.051 + 0.034 + 0.022 + 0.019 + 0.019 + 0.007$$

$$I_p = 0.20$$

Este parámetro es de suma importancia, ya que es uno de los factores que controla el tiempo de escurrimiento y concentración de la lluvia en los canales de drenaje y tiene una importancia directa en relación a las crecidas, según los procesos de cálculos determinados. La pendiente media para la unidad de estudio es de 0.20 m/m (20 %), indicando que el escurrimiento será de moderados a rápido.

5.1.4. Pendiente Media del Río

Tiene gran importancia debido a que condiciona la respuesta de la cuenca ante las precipitaciones. Se obtiene de forma directa con el apoyo del ArcGis y mediante la siguiente ecuación:

$$I_c = 100 * \frac{ElevMax - ElevMin}{Li * 1000}$$

Donde:

Ic: Pendiente media del río principal, %

ElevMax: Altura máxima del río, m

ElevMin: Altura mínima del río, m

Li: Longitud del río principal, km

$$I_c = 100 * \frac{1860 - 490}{25.97 * 1000}$$

Ic = 5.28 %

En la unidad de cuenca se encuentran elevaciones máximas de 1,860 msnm y mínimas de 490 msnm respectivamente, con una pendiente media del río de 0.0528 m/m, indicando que el escurrimiento se clasifica como medio.

5.1.5. Tiempo de Concentración

Para el cálculo del tiempo de concentración se utiliza la ecuación sugerida del PHCA 1970, la cual se adecua a nuestro país. El Tiempo de concentración es indicativo de la respuesta que tendrá la unidad hidrográfica ante la ocurrencia de las precipitaciones. En el cálculo se consideran los parámetros de pendiente y longitud del río, como se determina en la siguiente ecuación.

$$T_c = 0.0041 * k \wedge 0.77$$

Calculo de k:

$$k = 3.28 * (Lr / S \wedge 0.5)$$

Donde:

Tc: Tiempo de Concentración (Horas)

Lr: Longitud del curso principal (km)

S: Pendiente media del río (%)

Este tiempo de concentración de 1.36 horas se clasifica como moderado.

$$T_c = ((0.0041 * (3.28 * (25.97 * 1000) / ((1783 - 490) / (25.97 * 1000)) \wedge 0.5)) \wedge 0.77) / 60$$

$$T_c = 1.36 Hr$$

5.1.6. Índice de Gravelius o Compacidad

El cálculo de este parámetro se hace mediante la siguiente ecuación:

$$K_c = \frac{P \text{ (Km)}}{A \text{ (Km}^2\text{)} \wedge 0.5} * 0.28$$

$$K_c = \frac{65.40 \text{ Km}}{115.30 \text{ Km}^2 \wedge 0.5} * 0.28$$

$$K_c = \frac{65.40 \text{ Km}}{10.74 \text{ Km}^2} * 0.28$$

$$Kc = 1.71$$

Donde:

Kc: Índice de Gravelius

P: Perímetro de la cuenca (km)

A: Área de la cuenca (km²)

El Coeficiente de Compacidad o índice de gravelius de la unidad hidrológica es de 1.71, es decir que se clasifica como oblonga rectangular.

5.1.7. Factor de Forma

Este valor de factor de forma se obtiene con la siguiente ecuación:

$$Ff = \frac{A \text{ (km}^2\text{)}}{L^2 \text{ (km)}}$$

Donde:

Ff: Factor de forma (adimensional)

A: Área de la cuenca (km²)

L: Longitud del río principal (km)

$$Ff = \frac{115.30 \text{ km}^2}{(25.97)^2}$$

$$Ff = \frac{115.30 \text{ km}^2}{674.44 \text{ km}^2}$$

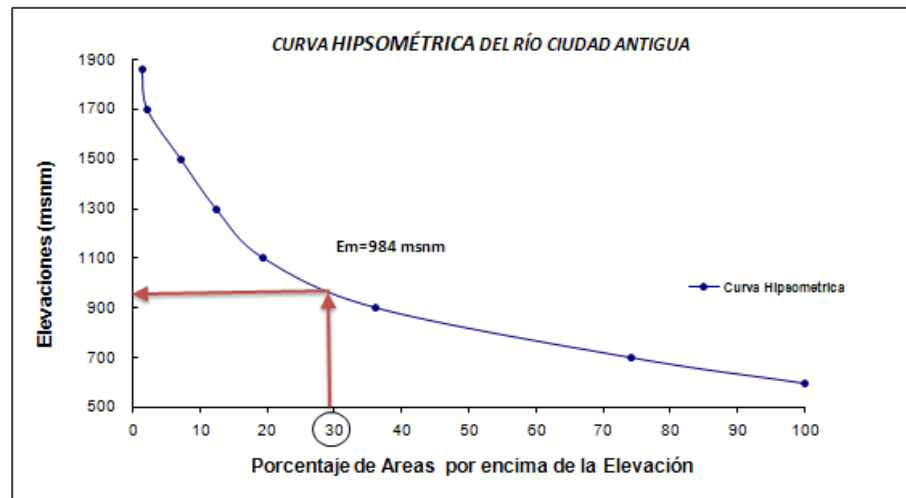
$$F_f = 0.171$$

La forma de la unidad de cuenca es muy poco achatada por presentar un factor de forma que oscila en valores comprendido entre 0.01 y 0.18.

5.1.8. Curva Hipsométrica

En el gráfico No. 5.1 de la Curva Hipsométrica se observa que entre las altitudes de 1800 msnm y 900 msnm la curva se presenta en general cóncava hacia arriba. Entre las altitudes de 900 msnm y 600 msnm la curva presenta un equilibrio que refleja un relieve natural más homogéneo.

Gráfico No. 5.1: Curva Hipsométrica

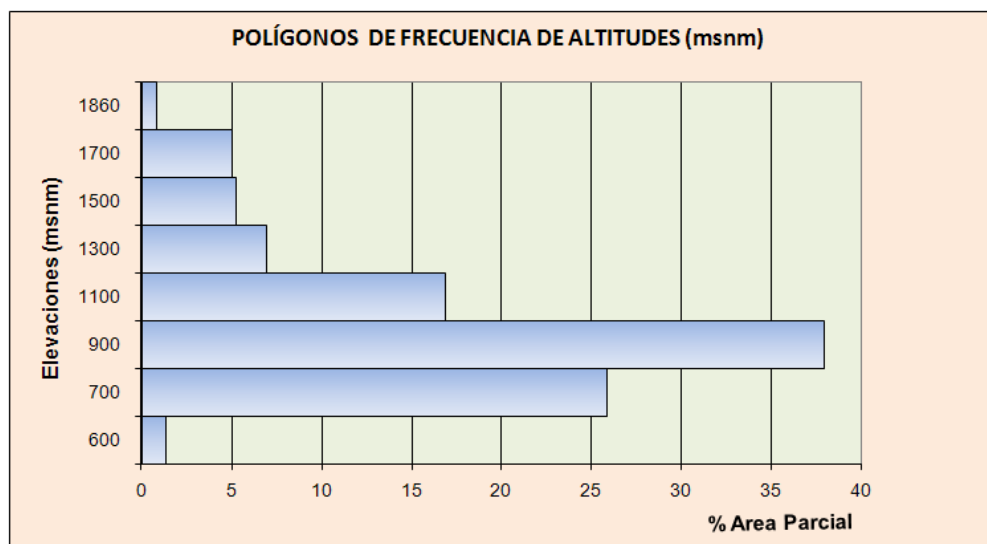


Fuente: Elaboración propia

5.1.9. Polígonos de Frecuencia Altitudes

Los polígonos de frecuencia de altitudes se obtienen representando sobre el eje de ordenadas el porcentaje de superficie total de la cuenca comprendida entre las curvas de nivel consecutivas. En este caso se puede apreciar que la mayoría del área de la unidad de cuenca río Ciudad Antigua se encuentra en su parte media, es decir entre las elevaciones 700 y 1100, con el 78.56 % del área total de la unidad hidrográfica (Ver gráfico No. 5.2).

Gráfico No. 5.2: Polígono de frecuencia de altitudes



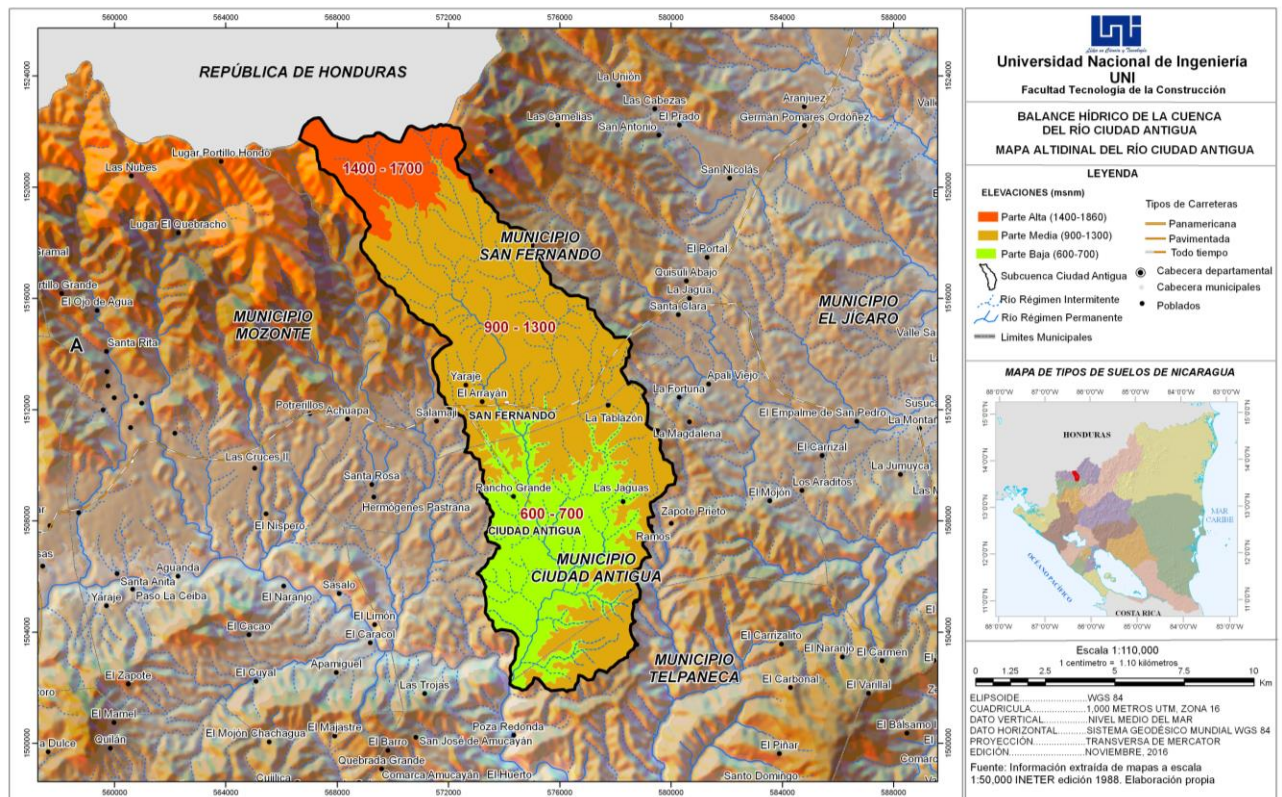
Fuente: Elaboración propia

Los intervalos de elevaciones que oscilan entre 1,400.00 – 1,860.00 msnm, corresponden a la parte alta con un área 12.76 km² representando el 11.07% del área total de la unidad hidrológica, esta parte corresponde a la naciente del río, donde imperan las mayores elevaciones en la unidad hidrográfica.

La parte media está entre las elevaciones de 900 msnm y 1,300.00 msnm, con un área de 71.18 km² (61.73%) del área total; es la zona donde se encuentra concentrada la cabecera municipal de San Fernando; agrupa a las comunidades de Yaraje, El Arrayán, La Tablazón, Las Jaguas, Ramos, Los Pinares y Valle San Francisco.

En la parte baja que corresponde a la deposición de materiales e incremento del nivel del río se localizan 3 comunidades, entre la que destaca la cabecera municipal de Ciudad Antigua, Las Jaguas y Rancho Grande. Los intervalos de elevaciones van desde 600 msnm hasta 700 msnm con un área de 31.36 km², lo cual representa el 27.99% del área total de la unidad de cuenca, esta relación se muestra en el mapa altitudinal de la unidad hidrográfica (Ver figura No. 5.1).

Figura No. 5.1: Mapa de altitudes de la sub cuenca Ciudad Antigua



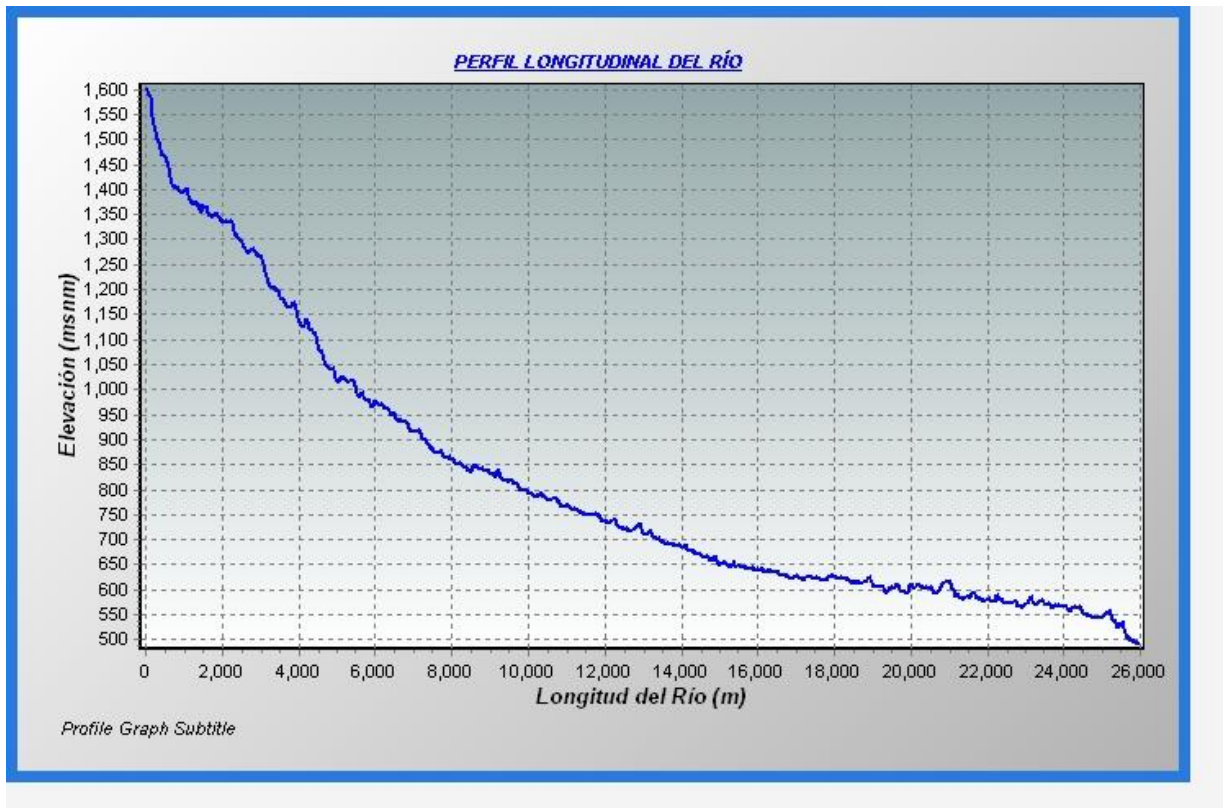
Fuente: INETER

5.1.10. Perfil Longitudinal del río

El perfil longitudinal de un río muestra como éste va perdiendo cota a lo largo de su recorrido, en el gráfico No. 5.3 se observa la elevación (msnm) en cada tramo. El perfil longitudinal del río presenta una forma cóncava y su pendiente disminuye desde las zonas más erosivas (zonas de cabecera) a las zonas donde predomina la sedimentación (zonas de desembocadura o baja).

La longitud del cauce principal es de 25.97 km, orienta sus aguas provenientes de la cordillera de Dipilto, drenando sus aguas hacia el río Coco. En Gráfico No. 5.3 se muestra el perfil longitudinal del cauce principal.

Gráfico No. 5.3: Perfil Longitudinal de río principal



Fuente: Elaboración propia

5.1.11. Número de Escurrimiento

El número de escurrimiento se obtiene con la siguiente ecuación:

$$Es = \frac{\text{Area (Km}^2\text{)}}{4 * Li (Km)}$$

Donde:

A: Área de drenaje de la cuenca (km²)

Li: Longitud de todos los ríos que comprende la cuenca (km)

Es: El número de escurrimiento Superficial (km²/km)

$$Es = \frac{115.30 \text{ (Km}^2\text{)}}{4 * 203 \text{ (Km)}}$$

$$Es = 0.13 \text{ km}^2 / \text{km}$$

El total de afluentes existentes es de 203, lo que caracteriza el escurrimiento de la unidad de cuenca como bajo, el que proporciona un buen drenaje de la unidad de cuenca y por lo tanto favorece al escurrimiento de la misma (número de escurrimiento de 0.13 km²/km).

5.1.12. Rectángulo Equivalente

Para el cálculo del rectángulo equivalente se utiliza el coeficiente de Gravelius y la superficie de la cuenca mediante la siguiente ecuación:

$$LM = (Kc * \sqrt{A}) / 1.12 [1 + \sqrt{1 - (1.12 / Kc)^2}]$$

$$LM = (1.71 * \sqrt{115.30}) / 1.12 [1 + \sqrt{1 - (1.12 / 1.71)^2}]$$

$$Lm = (Kc * \sqrt{A}) / 1.12 [1 - \sqrt{1 - (1.12 / Kc)^2}]$$

$$Lm = (1.71 * \sqrt{115.30}) / 1.12 [1 - \sqrt{1 - (1.12 / 1.71)^2}]$$

Donde:

LM= Lado mayor del rectángulo en km

Lm = Lado menor del rectángulo en km

Kc = coeficiente de Gravelius

A= superficie de la cuenca en km²

$$\mathbf{LM = 28.68 \text{ km}}$$

$$\mathbf{Lm = 4.02 \text{ km}}$$

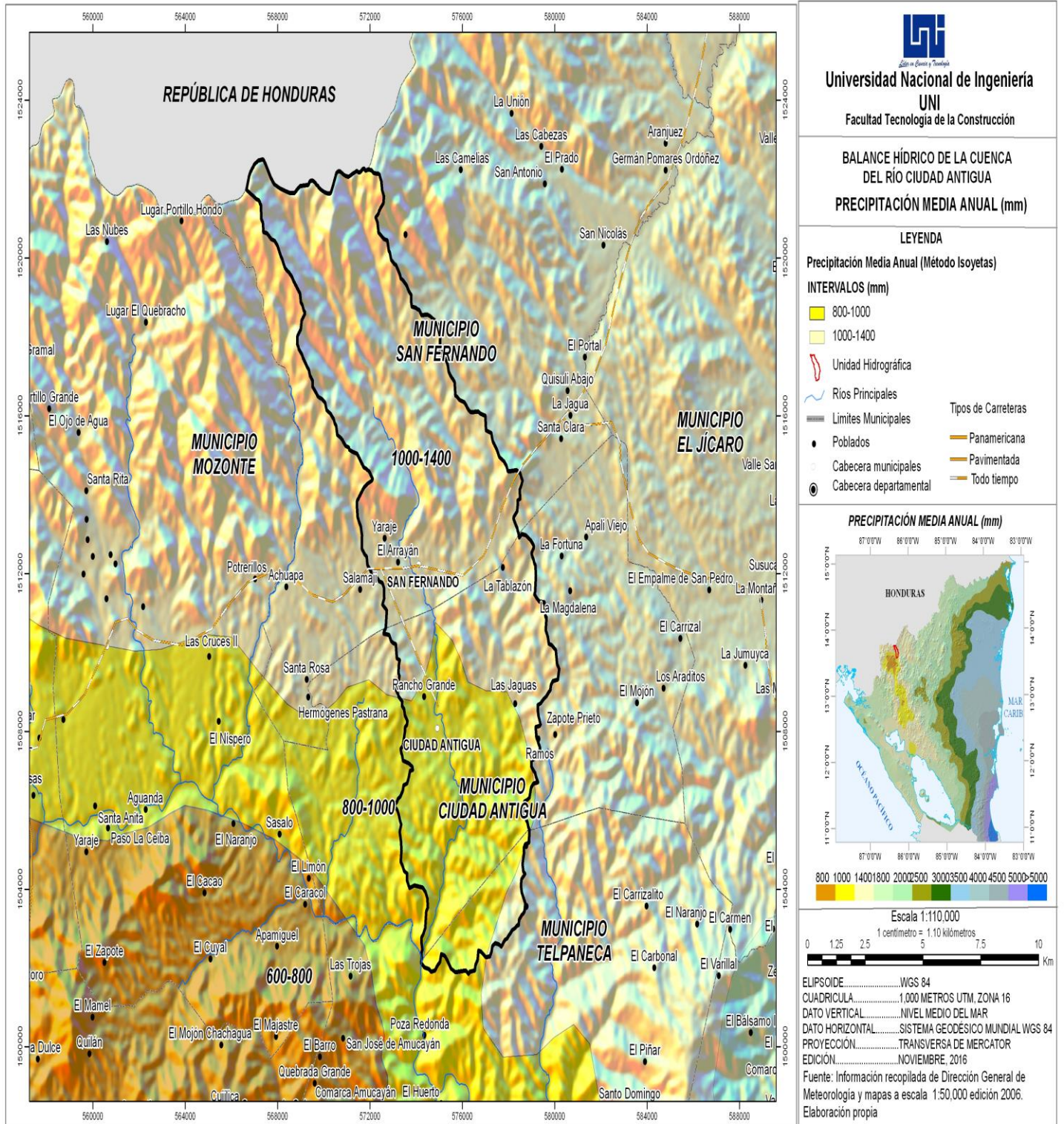
La transformación geométrica de la cuenca real en una superficie rectangular tienen como de lado mayor de 28.68 km y lado menor de 4.02 km, conservando el mismo perímetro de tal forma que las curvas de nivel se convierten en rectas paralelas a los lados menores del rectángulo y el mismo Coeficiente de Gravelius.

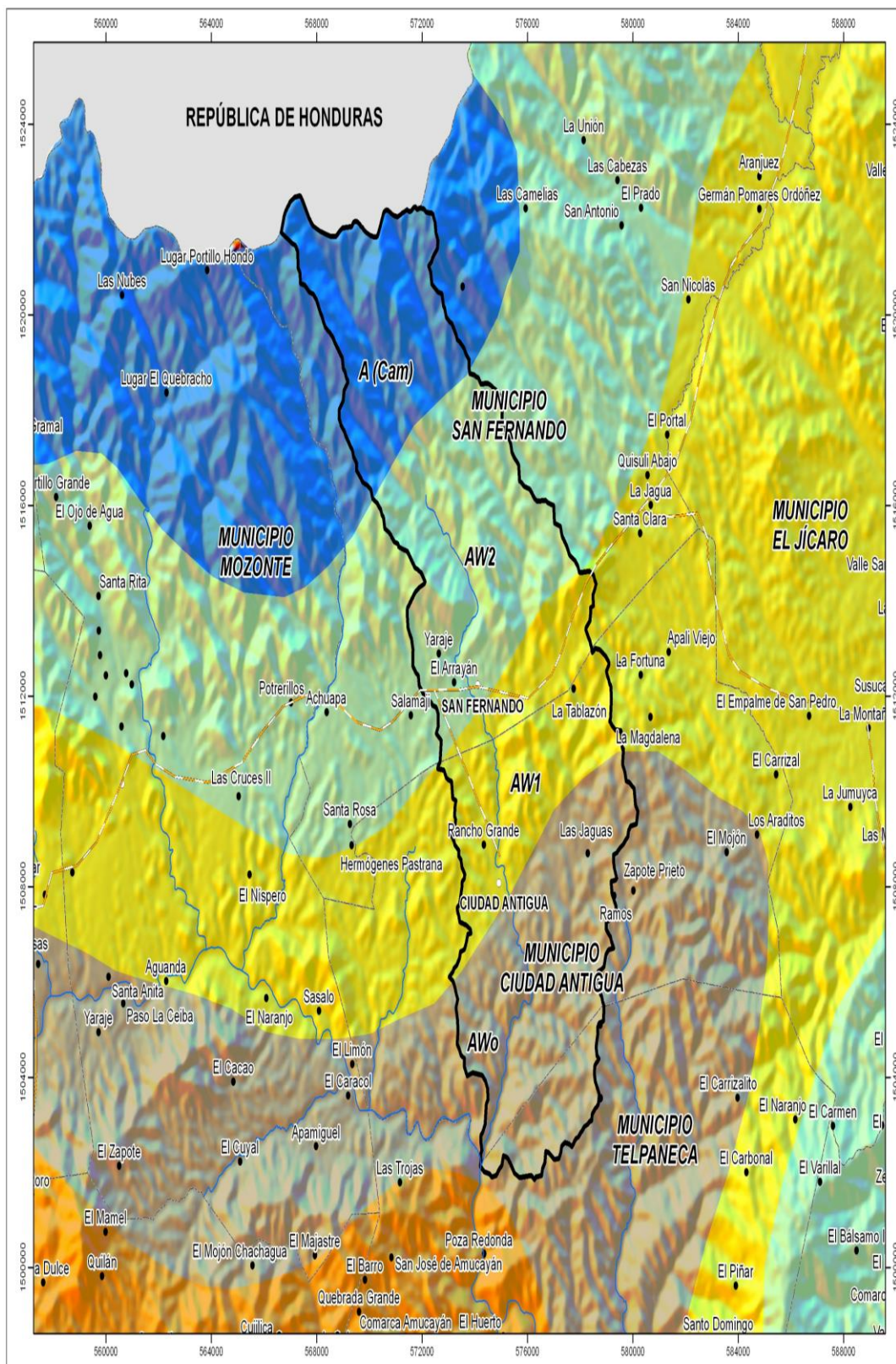
5.2. Caracterización climática de la unidad hidrográfica

5.2.1. Clasificación de Köppen

En la zona de estudio predomina el Clima Caliente y Subhúmedo Tropical, con lluvias en verano (AWo, AW1, AW2), el cual se caracteriza por presentar una estación seca (noviembre - abril). **En la parte norte de la unidad de cuenca se localiza el Clima Templado Húmedo A (Cam).** El clima AWo es el más seco de los Sub-Húmedos y el AW2 es el más húmedo de los Sub-Húmedos, mientras que el clima AW1 está intermedio entre AWo y AW2. En la figura No. 5.2 se reflejan los climas predominantes dentro de la unidad hidrográfica de Río Ciudad Antigua.

Figura No. 5.2; Clasificación climática de Koppen



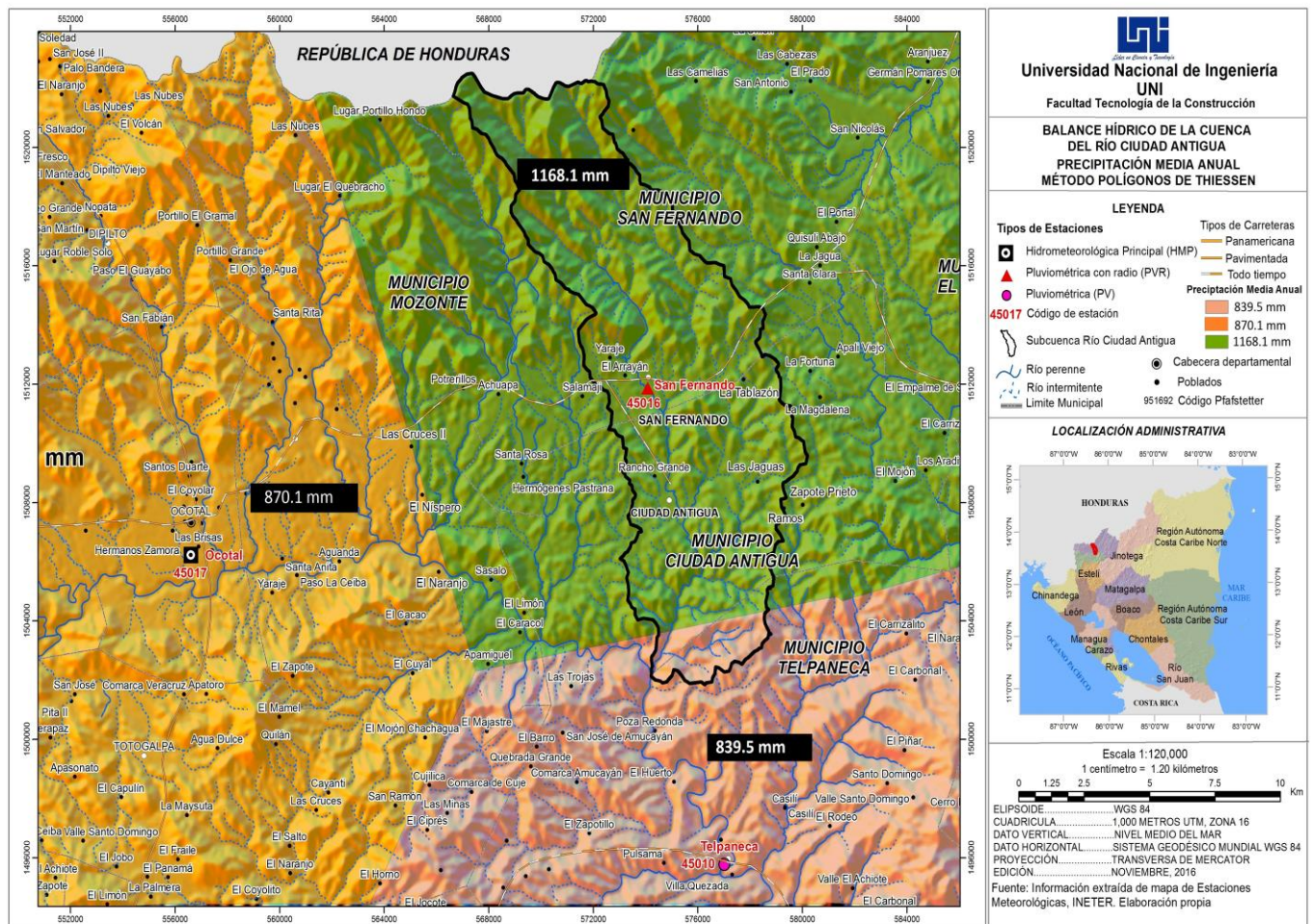


FUENTE: INETER

5.2.2. Precipitación Media

El comportamiento de la precipitación para el caso de la unidad hidrográfica en la parte alta y media oscila entre 1,000 mm y 1,400 mm; en cambio en la parte baja oscilan los valores entre 800 mm y 1000 mm (Ver figura No.5.3 y N° 5.4). La precipitación media calculada por el método de Thiessen se muestra en cuadro No. 5.1, siendo su valor de 1148.1 mm.

Figura No. 5.3. Estaciones meteorológicas para el cálculo del método de THIESSEN



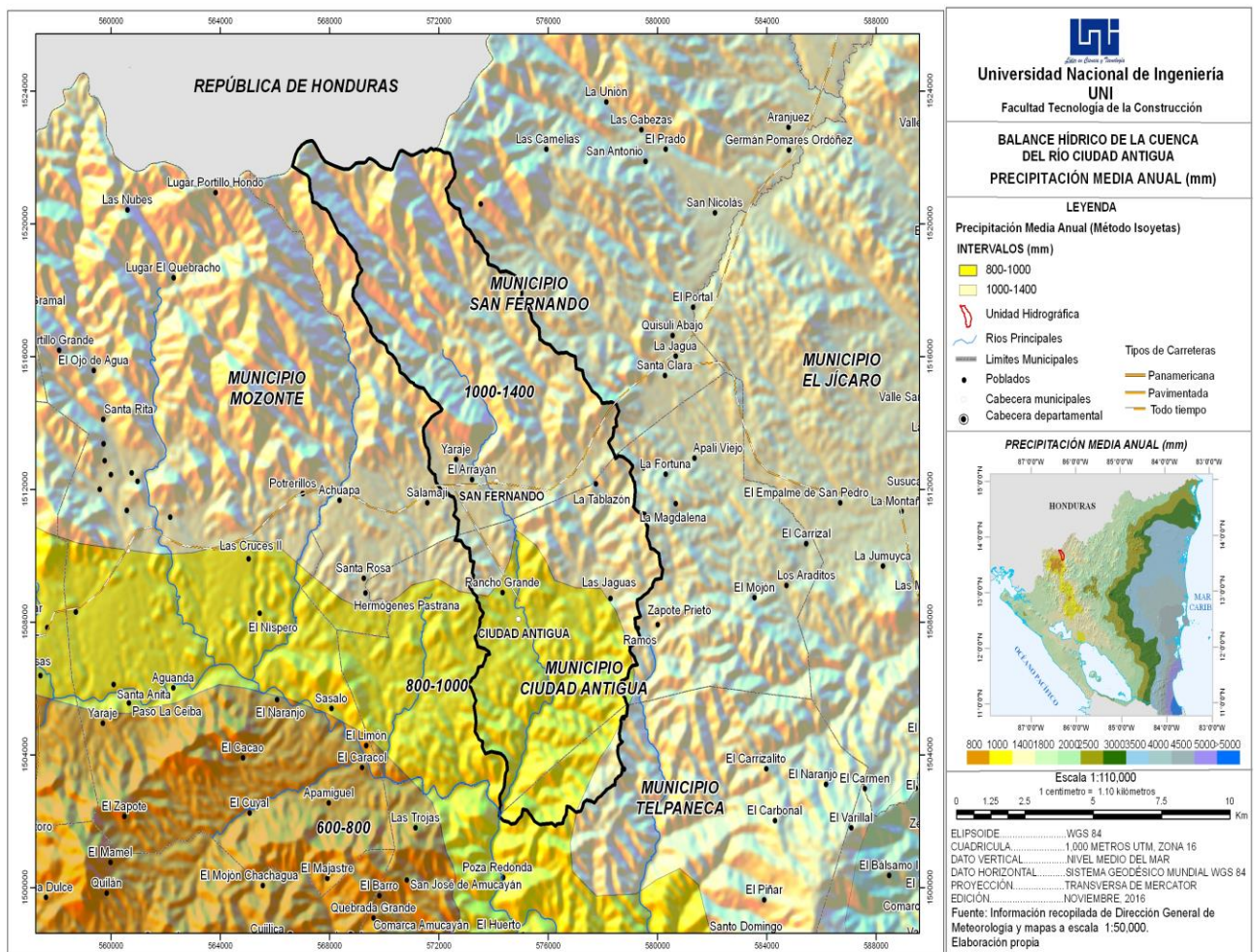
Fuente: INETER

Cuadro 5.1: Precipitación Media Anual de la Unidad Hidrográfica

Cálculo de Precipitación Anual (Método de Thiessen)					
Cuenca Río Ciudad Antigua					
Datos	Estacion	Área (km²)	Porcentajes de % Área	Prec Media Anual (mm)	Área * Prec Media Anual
1	Telpaneca	7.01	6.08	839.5	5884.9
2	San Fernando	108.29	93.92	1168.1	126493.5
		115.30	100.00	Prec. (mm)	1148.1

Fuente: Elaboración propia

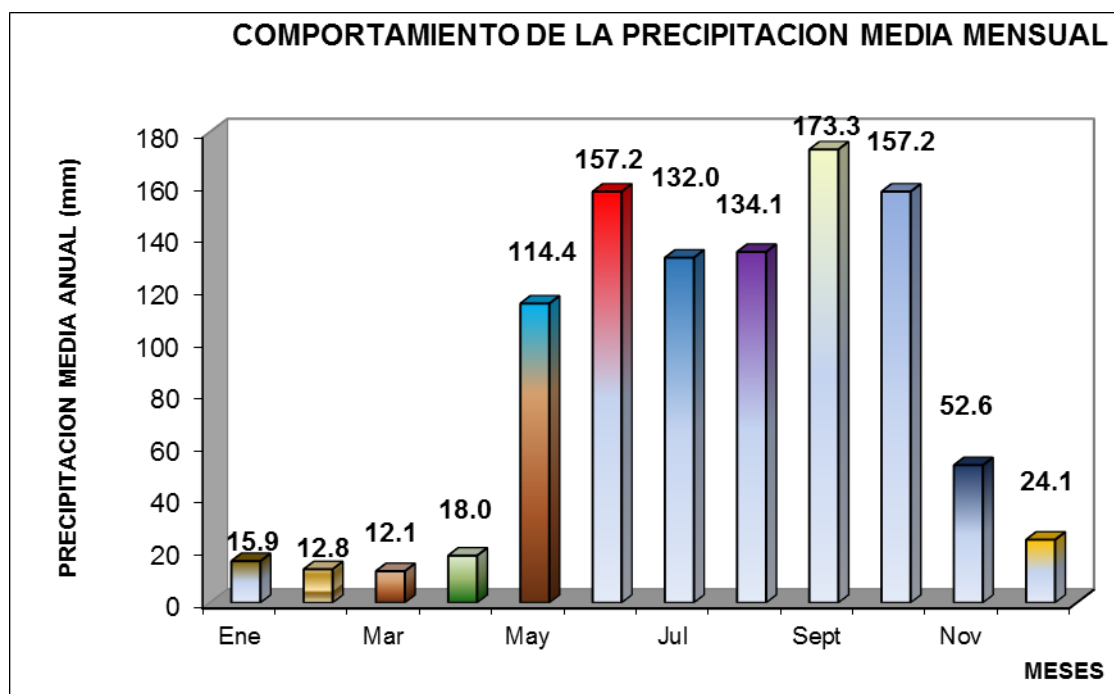
Figura No. 5.4. Precipitación media Anual de la unidad hidrográfica



Fuente: INETER

En el gráfico No. 5.4 se ilustra el comportamiento de la precipitación media mensual para el período de varios años considerados en este estudio. Como se puede notar en el gráfico los meses con mayor precipitación son junio, septiembre y octubre con valores de 157.2 mm y 173.3 mm y 157.2 mm respectivamente, mientras que los meses con menor precipitación son enero, febrero y marzo, con valores de 15.9 mm, 12.8 mm y 12.1 mm respectivamente.

Gráfico No. 5.4: Precipitación media mensual de la unidad hidrográfica



Fuente: Elaboración propia

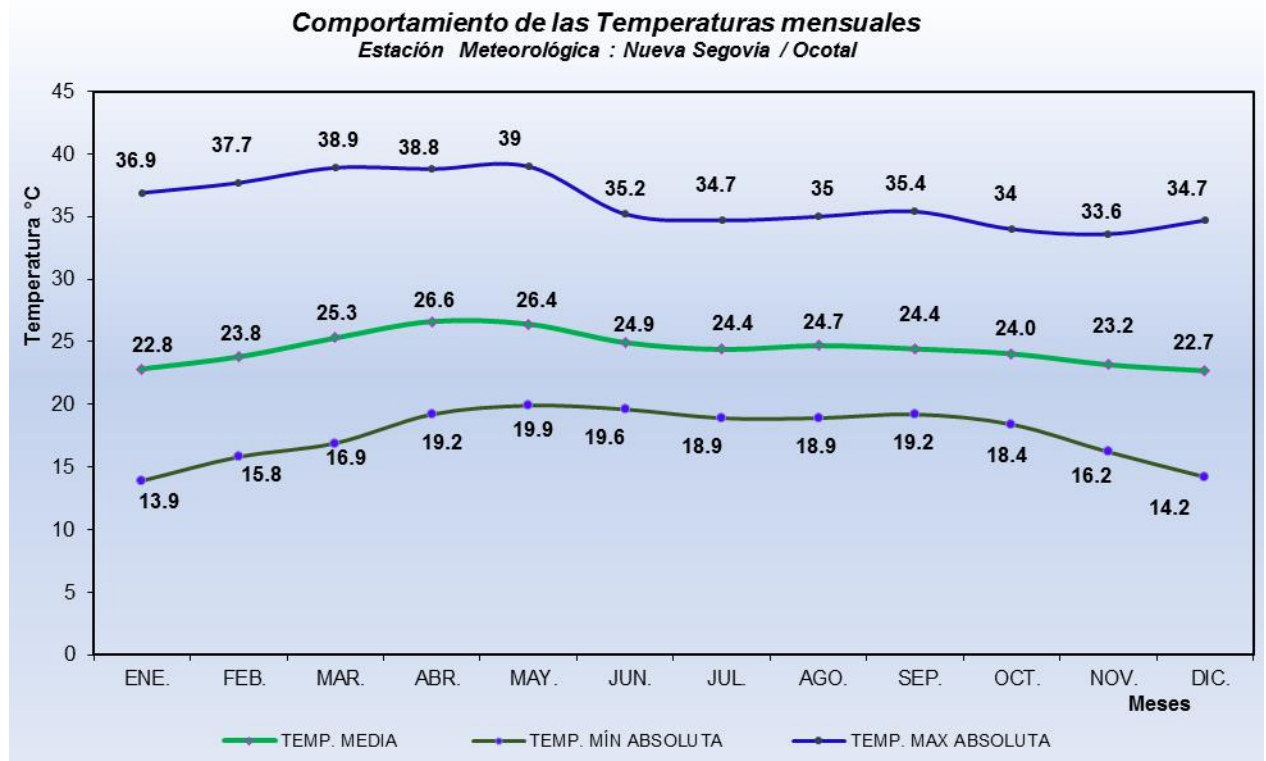
5.2.3. Temperatura Media Anual

La temperatura es inversamente proporcional con la altitud, es decir, que a mayor altitud existe una menor temperatura. El comportamiento de la temperatura media anual corresponde a los 24.4 °C. La media anual muestra que dentro de la región se puede observar contrastes significativos, provocados por el efecto del relieve y otras condiciones locales. Los rangos de temperaturas mínimos y máximos absolutas oscilan en rangos que predominan de 13.9 °C a 39.0 °C respectivamente.

Los valores medios mensuales de las temperaturas más elevadas se registran en los meses de abril y mayo, precisamente a finales del período seco con valores de 26.6 y 26.4°C respectivamente. Los valores de las temperaturas medias mensuales más bajas, ocurren entre diciembre y enero con magnitudes que oscilan entre 22.7°C y 22.8°C respectivamente. En el gráfico No. 5.5 se

muestra las tendencias temperaturas mensuales, tomando como referencia la estación principal de Ocotál.

Gráfico No. 5.5: Comportamiento de la temperatura media mensual

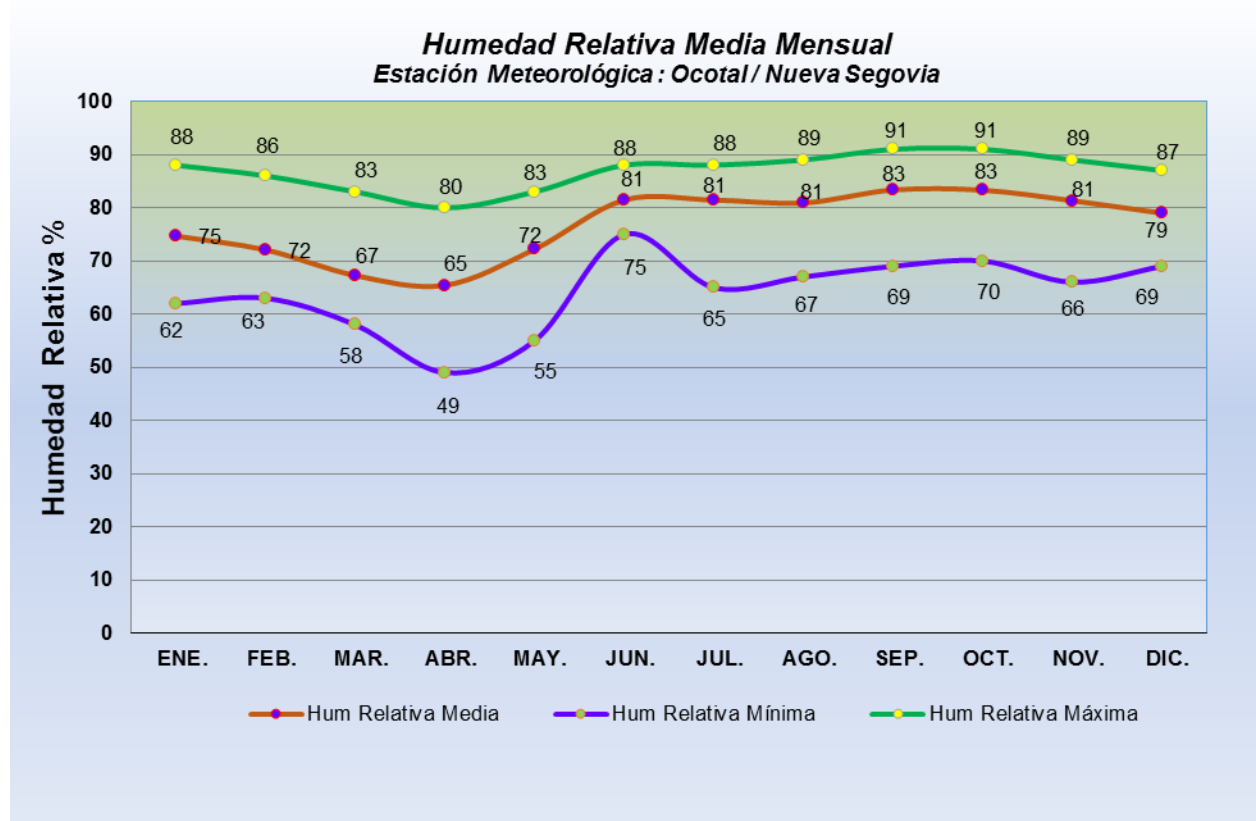


Fuente: Elaboración propia

5.2.4. Humedad Relativa

La humedad relativa media anual para el área de estudio es de 77%, los valores mínimos de la humedad relativa media en las diferentes localidades dentro de la unidad hidrológica, tienen lugar en el mes de abril con 65%. En el gráfico No. 5.6 se muestra el comportamiento de los valores mensuales de la humedad relativa, en el cual se observa que los valores máximos mensuales se registran en los meses de septiembre y octubre; tales valores son de 91%. La humedad relativa mínima se registra en el mes de abril con un valor de 49%.

Gráfico No.5.6: Comportamiento de la Humedad Relativa media mensual



Fuente: Elaboración propia

5.3. Cálculo del balance hídrico aplicando el método de Budyko

5.3.1. Información Climatológica

Se recopilieron las informaciones meteorológicas de precipitación, temperatura y humedad relativa en series a niveles mensuales. Se seleccionaron las dos estaciones meteorológicas existentes en el área de la unidad de cuenca, la de Telpaneca (45010) y la San Fernando (45016) para el análisis de la distribución espacial de la precipitación. Para la evaluación climática de los parámetros de temperatura y humedad relativa se tomaron los datos de la estación de Ocotál (45017), por ser la única estación principal cercana al área de estudio que tiene estos registro.

Cuadro No. 5.2: Estaciones utilizadas en el análisis de la Precipitación

Código	Estación	Coordenadas Geográficas (WGS84)		Altitud (msnm)	Precipitación Anual (mm)
		Latitud Norte	Longitud Oeste		
45010	Telpaneca	13°37'00"	86°28'00"	612	839.5
45016	San Fernando	13°40'30"	86°18'54"	725	1168.1

Fuente: Elaboración propia

5.3.2. Estimación de la Precipitación Media Areal

La precipitación media anual areal para el período de estudio se estimó en 1,148.4 mm/año, tomando en cuenta los resultados de la precipitación media obtenida en las estaciones seleccionadas. Para el cálculo de este valor se asignó un peso o representatividad de acuerdo al área de influencia que representa cada estación de la unidad de cuenca de estudio. En este proceso se determinan las estaciones que condicionan el comportamiento de este parámetro; siendo en este caso la estación de San Fernando que incide con 108.29 km² en el valor de la superficie de la cuenca, representando el 94 % de la misma (Ver cuadro No. 5.3).

Cuadro No. 5.3: Precipitación media anual areal del área de estudio

Precipitación Media Areal (Método de Thiessen)					
Código	Estación	Área (km²)	Peso según Área	Prec Media Anual (mm)	Precip*Peso
45010	Telpaneca	7.01	0.06	839.5	50.4
45016	San Fernando	108.29	0.94	1168.1	1098.0
		115.30	1.00	2007.6	1148.4

Fuente: Elaboración propia

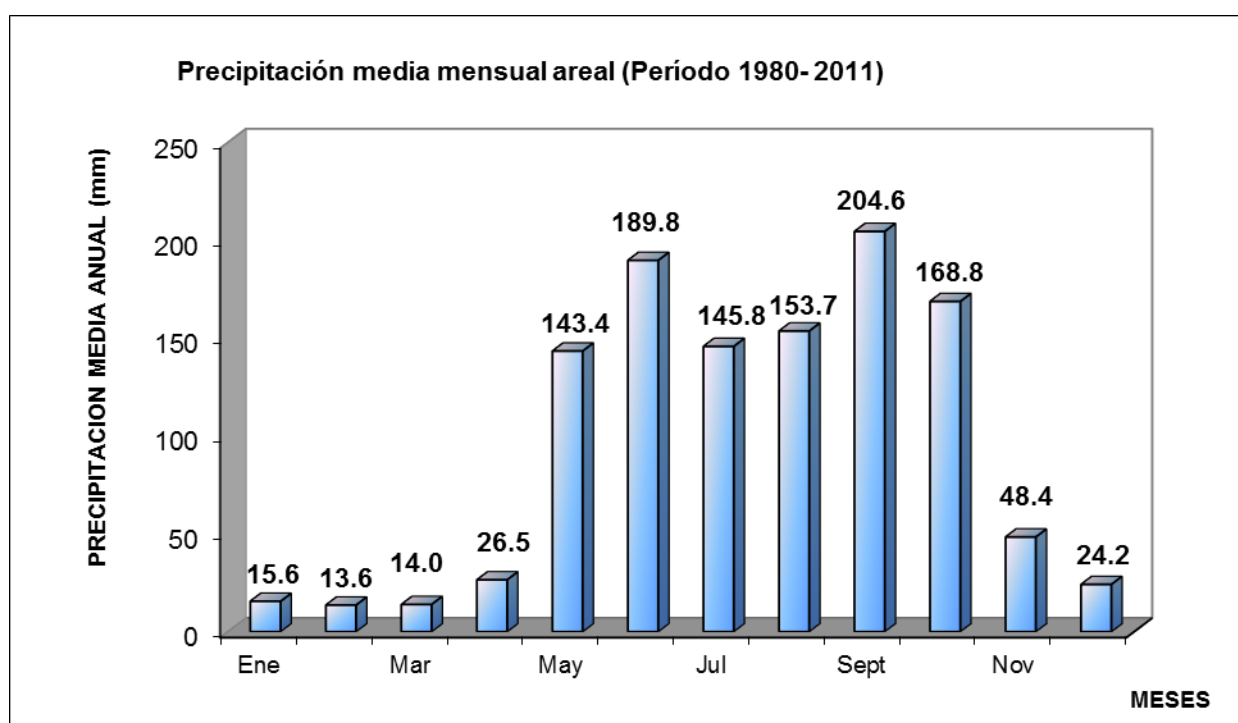
Una vez determinado el peso o representatividad de cada estación que tiene influencia en la cuenca se calcula la precipitación areal media mensual, tomando como referencia los registros mensuales y el valor del peso obtenido para la estación de Telpaneca (0.06) y San Fernando (0.94) (ver cuadro No. 5.4 y gráfico No. 5.7). Se puede observar según los resultados que están en correspondencia con los datos pluviométricos y la representatividad del área de cada estación. Los valores más bajos son para la estación de Telpaneca, por tener menos área de influencia en la su-cuenca. Los valores de precipitaciones más bajos corresponden al período seco comprendido entre noviembre y abril; mientras que las precipitaciones más altas se encuentran en los meses del período lluvioso (Mayo-octubre).

Cuadro No. 5.4: Precipitación media mensual areal

Estaciones	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agost	Sept	Oct	Nov	Dic	ANUAL
Telpaneca	1.0	0.7	0.6	0.5	4.9	7.2	7.0	6.7	8.3	8.6	3.4	1.4	50.4
San Fernando	14.6	12.9	13.4	26.0	138.6	182.6	138.8	147.0	196.3	160.1	45.0	22.8	1098.0
PROMEDIO	15.6	13.6	14.0	26.5	143.4	189.8	145.8	153.7	204.6	168.8	48.4	24.2	1148.4

Fuente: Elaboración propia

Gráfico no. 5.7: Precipitación media mensual areal



Fuente: Elaboración propia

5.3.3. Evapotranspiración

Una vez seleccionado el período de cálculo de los parámetros climatológicos de precipitación, temperatura, humedad relativa, se determinó la evapotranspiración potencial para el área de estudio, tomando en cuenta la altitud de la estación meteorológica de Ocotal ubicada a 612 msnm, utilizando el método propuesto de

Hargreaves, en el cual se utilizan valores medios de temperatura y humedad relativa.

Para el cálculo de la evapotranspiración potencial por la fórmula de Hargreaves (Hargreaves y Samani, 1985) solo se requiere de datos de temperaturas y de Radiación Solar; y se calcula mediante la siguiente expresión:

$$ET_0 = 0,0135 (t_{med} + 17,78) R_s$$

Donde:

ET_0 = evapotranspiración potencial diaria, mm/día

t_{med} = temperatura media, °C

R_s = radiación solar incidente, convertida en mm/día

La radiación solar incidente, R_s , se evalúa a partir de la radiación solar extraterrestre (la que llega a la parte exterior de la atmósfera, que sería la que llegaría al suelo si no existiera atmósfera); ésta última aparece según los autores como R_0 o R_a , y se encuentra en tablas en función de la latitud del lugar y del mes. Los valores de la humedad relativa y de la temperatura se obtienen de datos y/o mediciones estadísticas, en este caso de información de INETER. Para la consideración de la radiación solar se requieren los siguientes parámetros climáticos:

- ✓ Factor de duración por latitud (F_d Latitud),
- ✓ Factor de corrección por latitud (F_c Latitud),
- ✓ Humedad relativa al medio día (H_n),
- ✓ Factor de duración de resplandor solar (F_c duración R.S.),
- ✓ Porcentaje mensual de horas luz (d),
- ✓ Factor de corrección por elevación (F_c Elevación),

- ✓ Corrección del factor de duración del resplandor solar, % (tabla), (Corrección RS),
- ✓ Factor de corrección por Latitud (Fc).

En las ecuaciones siguientes se presentan las expresiones para el cálculo de factores climáticos y la Evapotranspiración para el área de estudio para el período de un año.

$d = 0.12 / Fc\text{-Latitud}$, d: se encuentra en tabla.

$$H_n = 1 + 0.4 * (HR) + 0.004 * (HR^2)$$

$$Fc\text{-Elevación} = (Elevación / 150) * 0.01$$

$$Fc\text{-Duración R.S} = (Fc\text{-Latitud} / 24) * 100$$

Corrección-RS = Fc-Latitud / Fc-duración R.S, Fc-Duración se encuentra en tabla

$$ETP = 17.37 * (d) * (T) * (1 - 0.01 * H_n)$$

$$\text{Corrección-RS} * ETP = \text{Corrección-RS} * ETP$$

$$ETP \text{ correg} = ETP - \text{Corrección-RS} * ETP / Fc \text{ Elevación} * ETP$$

En el cuadro No. 5.8 se presentan los resultados del cálculo de la evapotranspiración potencial para el primer año de la serie de años seleccionados para este estudio (1980), usando los procedimientos el método de Hargreaves; dichos procedimientos se aplican para los demás años de la serie histórica para determinar este parámetro para todo el período de datos seleccionados en esta investigación.

Cuadro No. 5.5: Procedimientos para el cálculo de la Evaporación potencial

Estación: Ocotal Grado decir Código: 45017 Tipo: HMP Latitud: '13°37'00" =13.61666667 Longitud '86°28'00" Años: 1980 Elevación msnm: 612													
	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agos.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Prom.
Temperatura	23.40	23.60	25.80	27.40	27.70	25.30	24.70	24.90	24.30	24.30	23.40	22.10	24.7
Fc Latitud	7.58	7.64	8.44	8.44	8.87	8.69	8.95	8.79	8.28	8.28	7.85	8.05	
d	0.91	0.92	1.01	1.01	1.06	1.04	1.07	1.05	0.99	0.99	0.94	0.97	
Humedad relativa HR	72.00	66.00	62.00	58.00	67.00	80.00	79.00	78.00	81.00	83.00	80.00	74.00	73.3
Hn	50.54	44.82	41.18	37.66	45.76	58.60	57.56	56.54	59.64	61.76	58.60	52.50	
Fc Elevación	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	
Fd Latitud	11.38	11.66	12.00	12.44	12.74	12.92	12.82	12.54	12.17	11.80	11.46	11.28	
Fc duración R.S	47.43	48.56	50.00	51.85	53.10	53.82	53.40	52.27	50.72	49.17	47.73	47.01	
Corrección RS	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	
ETP	182.88	207.37	266.83	300.34	277.80	189.61	195.54	198.29	169.15	160.39	158.51	176.02	2482.7
Correc RS * ETP (1)	43.89	49.77	64.04	72.08	66.67	45.51	46.93	47.59	40.60	38.49	38.04	42.24	
ETP - (1)	138.99	157.60	202.79	228.26	211.13	144.11	148.61	150.70	128.55	121.90	120.47	133.77	
Fc Elev * ETP	7.46	8.46	10.89	12.25	11.33	7.74	7.98	8.09	6.90	6.54	6.47	7.18	
ETP corg	131.5	149.1	191.9	216.0	199.8	136.4	140.6	142.6	121.7	115.4	114.0	126.6	
Evapotranspiración Potencial Anual													1785.6

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro No. 5.6 y gráfico 5.7 se presentan los resultados del cálculo de la evapotranspiración potencial para los años del período seleccionado para este estudio (1980-1911). La evaporación potencial media fue estimada en 1,636.1 mm/año; que de acuerdo al mapa de evapotranspiración potencial anual, se encuentra dentro del rango de las isocurvas de la variación anual de la ETP entre 1,600 mm/año y 1,800 mm/año.

Los valores máximos de la ETP se presentan en los meses que corresponden a la estación seca, principalmente en los meses de abril a mayo, que alcanza valores entre 187.5 y 173.7 mm.

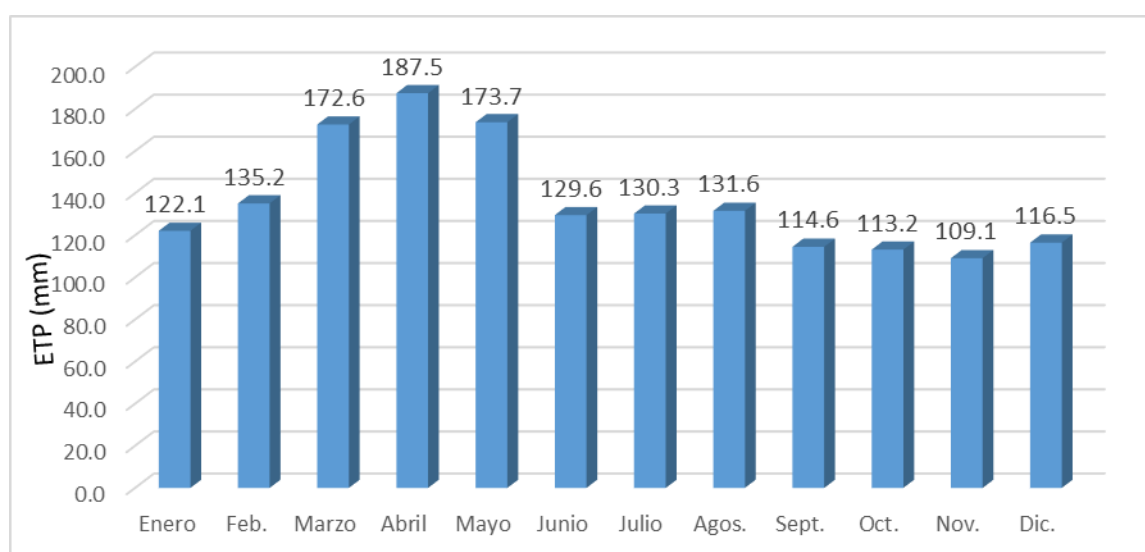
La evapotranspiración potencial empieza a disminuir al inicio del período lluvioso (junio - octubre), presentando sus valores mínimos en los meses de octubre y noviembre, con valores que varían entre 109.1 y 113.2 mm. En el gráfico No. 5.8 se observan los meses en que se producen los mayores valores de la evapotranspiración, coincidiendo cuando las condiciones de humedad en el suelo son bajas.

Cuadro No. 5.6: Valores medios mensuales de evapotranspiración potencial

EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL PARA LA ESTACION DE OCOTAL.													
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
1980	131.5	149.1	191.9	216.0	199.8	136.4	140.6	142.6	121.7	115.4	114.0	126.6	1785.6
1981	127.3	144.1	191.9	179.0	168.6	118.6	132.7	134.7	115.3	114.9	122.5	123.9	1673.5
1982	130.4	154.2	199.8	211.3	185.7	139.8	135.0	149.9	123.7	125.9	129.7	127.3	1812.5
1983	144.8	159.2	214.4	209.9	235.4	140.7	138.9	132.9	103.5	108.4	110.1	126.2	1824.5
1984	124.0	138.1	170.1	189.8	190.1	126.0	115.6	100.7	87.4	116.1	119.9	132.1	1609.8
1985	126.7	128.3	177.2	191.1	186.6	134.8	111.8	129.8	124.2	111.2	120.2	124.5	1666.2
1986	131.5	160.5	197.9	217.9	192.6	132.6	132.8	150.5	125.3	132.2	122.2	131.2	1827.1
1987	138.7	163.2	205.4	230.6	218.4	150.6	124.2	151.7	141.3	162.1	166.2	156.0	2008.2
1988	151.7	158.1	205.0	198.5	181.1	138.0	130.3	120.5	105.1	122.8	129.6	128.1	1768.8
1989	134.1	140.4	192.8	234.8	230.4	147.7	129.9	124.3	104.8	109.2	97.3	101.9	1747.6
1990	116.8	123.0	155.6	170.8	141.1	118.1	128.1	116.6	101.0	101.1	85.8	98.0	1456.0
1991	103.6	118.0	158.9	163.7	144.8	113.1	133.2	134.7	125.2	112.5	113.9	114.1	1535.6
1992	113.2	137.5	181.7	184.2	180.4	131.9	125.0	137.5	123.3	122.8	120.7	127.3	1685.4
1993	124.1	145.9	180.2	175.9	135.8	120.5	129.9	116.6	100.8	109.4	114.0	123.5	1576.6
1994	119.4	139.7	185.3	192.6	164.2	136.5	186.7	175.8	160.4	139.1	89.8	124.5	1814.0
1995	127.8	128.9	172.6	155.0	153.1	135.3	135.5	124.5	100.6	103.9	104.0	104.7	1545.7
1996	111.2	127.2	158.9	180.4	151.8	138.1	126.6	116.1	114.8	103.0	94.0	112.1	1534.1
1997	142.8	120.4	169.5	200.8	220.7	126.6	136.6	144.3	123.7	108.0	97.7	106.6	1697.7
1998	117.8	143.8	166.4	187.3	176.9	136.4	130.5	135.8	105.1	86.0	91.8	103.3	1581.1
1999	113.7	128.6	158.2	200.6	188.6	142.0	104.8	124.5	102.9	90.9	91.9	99.6	1546.4
2000	100.7	117.2	153.9	177.3	153.2	138.7	148.6	133.5	103.5	95.3	96.8	92.5	1511.2
2001	81.3	93.0	119.9	137.2	145.9	115.2	118.2	123.4	97.3	102.3	101.9	106.7	1342.4
2002	94.3	110.5	134.7	147.4	130.7	106.0	124.2	143.2	120.4	118.6	111.6	116.8	1458.3
2003	114.1	128.7	169.6	190.1	180.4	115.6	129.2	120.0	118.6	115.8	96.8	110.5	1589.5
2004	120.5	131.6	151.4	178.6	167.6	146.0	145.2	143.8	129.9	120.0	110.2	129.5	1674.3
2005	163.1	133.1	178.8	194.0	155.6	106.4	116.0	114.0	98.9	93.3	88.1	96.3	1537.5
2006	99.1	113.7	149.5	155.2	152.4	114.0	120.6	133.1	120.0	127.7	113.0	114.4	1512.8
2007	122.0	149.0	171.2	183.3	194.2	139.8	144.0	135.3	111.1	106.2	105.9	110.8	1672.9
2008	117.9	127.3	167.2	195.6	195.9	125.4	118.2	131.9	110.6	103.0	106.9	114.6	1614.4
2009	115.8	127.7	162.4	194.1	147.4	135.3	137.8	135.8	134.2	130.6	120.4	133.5	1675.0
2010	129.3	154.5	163.3	170.3	139.3	124.0	121.7	116.5	101.4	120.7	103.1	109.0	1553.1
2011	118.9	130.6	167.8	188.0	150.3	117.0	118.2	117.5	109.7	94.5	102.2	102.4	1517.0
Media	122.1	135.2	172.6	187.5	173.7	129.6	130.3	131.6	114.6	113.2	109.1	116.5	1636.1

Fuente: Elaboración propia

Gráfico No. 5.8: Evapotranspiración potencial del período de estudio



5.3.4. Estimación del Escurrimiento, aplicando el método de Budyko

Para determinar los caudales en el área de estudio, se optó por el método directo y empírico propuesto por Budyko, usando la relación precipitación-escorrentía, que toma en cuenta los parámetros de la precipitación areal y evapotranspiración de la unidad de estudio. Para el cálculo de la precipitación areal se tomaron los datos de precipitación de la estación meteorológica de Ocotlán y para obtener la evapotranspiración se utilizó la fórmula de Hargreaves y los datos de temperatura y humedad de la misma estación. La expresión propuesta por Budyko es la siguiente:

$$A_T = P_T e^{\left(-0.79 \frac{ETP}{P_T}\right)}$$

Donde:

A_T : Escorrentía total anual en mm

P_T : Precipitación total anual en mm

ETP : Evapotranspiración anual potencial o real en mm

El caudal medio anual se determina considerando la escorrentía anual y la superficie de la cuenca, mediante la siguiente expresión:

Caudal medio (m^3/s): Escorrentía (mm) x Superficie (km^2) x 3.17×10^{-5}

Según los cálculos (Ver cuadro No. 5.7 y gráfico No. 5.9 y No. 5.10) se estimó que la unidad hidrológica genera una escorrentía anual de 556.39 mm/año, para un área de aportación de 115.30 km^2 , correspondiente al área de drenaje de la cuenca del río Ciudad Antigua, lo cual representa 2.034 m^3/seg , siendo esto equivalente a un volumen de 64.10 mmc.

Durante el período seco (Noviembre-abril) el comportamiento del caudal refleja valores muy bajos, ya que el escurrimiento varía 0.01 mmc y 0.94 mmc. Esta disminución muestra una estrecha relación con los regímenes de precipitación

de la zona durante este período, debido que en estos meses existe un déficit de lluvia, lo que genera una disminución de los caudales considerablemente con respecto a su caudal medio anual.

Los mayores aportes se producen en los meses de mayor precipitación (junio - octubre), con 110.83 a 99.51 mm, respectivamente, equivalente en volumen entre 12.77 - 11.47 millones de metros cúbico anualmente, respectivamente.

Cuadro No.7: Escorrentía y caudal mensual del período de estudio

	Area (km ²)	Prec (mm)	ETP (mm)	Escurrim (mm)	Caudal (m ³ /s)	Vol (MMC)
Enero	115.30	15.6	122.1	0.03	0.000	0.00
Febrero	115.30	13.6	135.2	0.01	0.000	0.00
Marzo	115.30	14.0	172.6	0.00	0.000	0.00
Abril	115.30	26.5	187.5	0.10	0.000	0.01
Mayo	115.30	143.4	173.7	55.21	0.202	6.36
Junio	115.30	189.8	129.6	110.83	0.405	12.77
Julio	115.30	145.8	130.3	72.09	0.263	8.31
Agosto	115.30	153.7	131.6	78.27	0.286	9.02
Septiembre	115.30	204.6	114.6	131.61	0.481	15.17
Octubre	115.30	168.8	113.2	99.51	0.364	11.47
Noviembre	115.30	48.4	109.1	8.19	0.030	0.94
Diciembre	115.30	24.2	116.5	0.54	0.002	0.06
		1148.4	1636.1	556.39	2.034	64.1

Fuente: Elaboración propia

Gráfico No. 5.9: Precipitación y escorrentía mensual del período de estudio

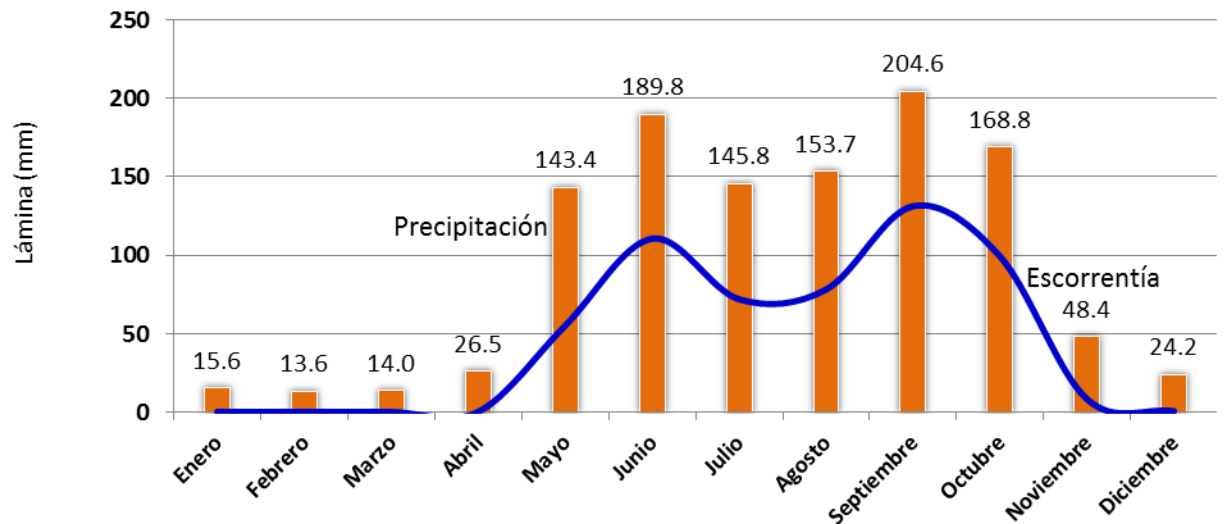
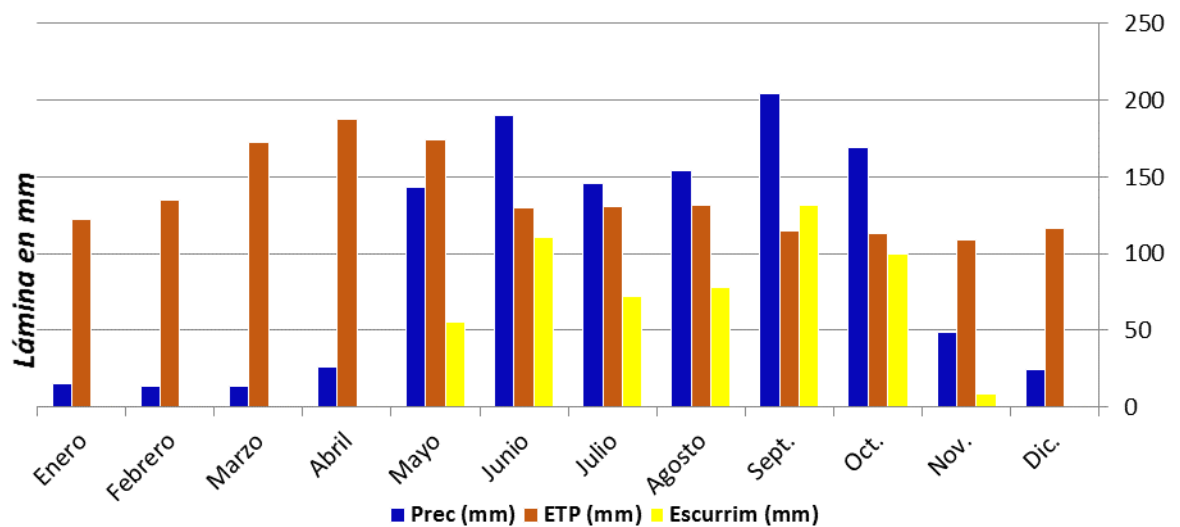


Gráfico No.5.10: Relación de la Precipitación, ETP y Escurrimiento (método de Budyko)



CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- Según los datos estimados en este estudio, se concluye que la unidad hidrográfica del Río Ciudad Antigua, tiene un área de 115.30 km², la cual representa el 0.60 % del área total de la unidad hidrográfica del río Coco, la que cuenta con un área de 19,256.73 km². El perímetro estimado de esta unidad hidrográfica estudiada es de 64.40 km.
- Considerando la clasificación de Köppen, en la zona de estudio predomina el clima caliente y sub - húmedo tropical y el clima templado (AWo, AW1, AW2); con temperaturas medias corresponde a 24.4°C; con mínimas y máximas de 13.9 °C a 39.0 °C respectivamente. EL clima está marcado por una estación seca seis meses, desde noviembre hasta abril (con precipitaciones más bajas de 12.1 mm) y un período lluvioso que inicia en mayo y finaliza en octubre (con precipitaciones más altas de 173.3 mm). La precipitación Media Anual es de 1148.1 mm; y la humedad relativa media es de 77% y presentando un mayor valor de 91% (entre los meses de junio y octubre) y un menor valor de 49%.
- El Tiempo de Concentración es de 1.36 hrs. (81.6 minutos), por lo tanto se clasifica como moderado. La densidad de drenaje es de 1.88 km/km², la cual se considera como moderada. El total de cauces o números de ríos de la unidad hidrológica es de 216.77 km.
- En los parámetros geomorfológicos se determinó un coeficiente de compacidad de 1.71, el cual se clasifica como oblonga rectangular. Debido a que el coeficiente de compacidad está relativamente alejado de la unidad; se afirma que dicha unidad de cuenca no tiene tendencia a concentrar grandes volúmenes de aguas de escurrimiento. El total de afluentes existentes es de 203 y número de escurrimiento es de 0.13 km²/km), lo cual caracteriza el escurrimiento de la unidad de cuenca como bajo.

- La mayor parte del área de la unidad de cuenca de río Ciudad Antigua se encuentra en su parte media, entre las elevaciones 700 y 1100, lo que representa el 78.56 % del área total de la unidad hidrográfica. Se observa que entre las altitudes de 1800 msnm y 900 msnm la curva hipsométrica se presenta en general cóncava hacia arriba y entre las altitudes de 900 msnm y 600 msnm la curva presenta un equilibrio que refleja un relieve natural más homogéneo. La pendiente media de la unidad de cuenca es de 0.20 m/m (20 %), indicando que el escurrimiento será de moderados a rápido.
- La pendiente media del río de la unidad de cuenca es de 0.0528 m/m, indicando que el escurrimiento se clasifica como medio. El perfil longitudinal del río presenta una forma cóncava y su pendiente disminuye desde las zonas más altas a las zonas más bajas; siendo la longitud del cauce principal es de 25.97 km.
- Según los cálculos basados en los datos estadísticos climatológico de la zona de estudio la evapotranspiración potencial media anual estimada es de 1,636.1 mm; presentándose los valores mínimos en los meses de octubre y noviembre, que varían entre 109.1 y 113.2 mm; mientras que los valores más bajos se encuentran durante los meses de abril y mayo, con 187.5 mm y 173.7 mm, respectivamente.
- Según los cálculos del balance hídrico usando la relación Precipitación - Escurrimiento por el método de Budyko, se estimó que la unidad hidrográfica del río Ciudad Antigua genera una esorrentía anual de 556.39 mm/añual, lo que para el área de aportación de 115.30 km² corresponde a un volumen equivalente a 64.1 mmc/añual.

6.2 Recomendaciones

- Por los problemas existentes en la zona de estudio, referente a la erosión, a consecuencia del inadecuado uso de los suelos y a la deforestación permanente y excesiva, se recomienda la implementación de la reforestación permanente en toda el área de la unidad de cuenca.
- Se deben realizar estudios y diagnósticos periódicamente con el objetivo de contar con información actualizada sobre la situación de los recursos hídricos y las prácticas agropecuaria. Esto va a permitir considerar estas variables en la planificación del desarrollo del municipio y de las comunidades existentes en la unidad de cuenca.
- Se deben completar el equipamiento de las estaciones meteorológicas de Telpaneca y San Fernando para poder medir más parámetros climáticos, como humedad, temperatura, entre otros.
- Para garantizar la medición correcta y los registros estadísticos se recomienda contar con el personal necesario y con capacitación permanente.
- Las instituciones de gobierno relacionadas con el manejo de los recursos naturales deben mantener un control y una buena vigilancia sobre el uso y explotación de las diferentes fuentes de agua existentes en el área de la unidad de cuenca del Río Ciudad Antigua, para garantizar la sostenibilidad del desarrollo de las comunidades de esta zona.

Bibliografía

1. CEDEX, “Manual del usuario CHAC” (cálculo hidrometeorológico de aportaciones y crecidas), CEDEX. Madrid, 76pp. Página. Enero 2013.
2. Ven Te Chow, David R. Maidment y Larry W, Mays. Hidrología aplicada. McGRAW-HILL, INC. Colombia. 1996.
3. UNESCO. Instituto de Hidrología de España. Método de Cálculo del Balance Hídrico, Madrid España. 1981.
4. Instituto México de Tecnología del Agua, IMTA. Balance Hídrico en la Cuenca de Mexico. Coordinación de Tecnología Hidrológica, Sub coordinación de Hidrología y Mecánica de Ríos, México. 2003.
5. Naciones Unidad, Programa Para el Desarrollo Organización Meteorológica Mundial, Manual de Instrucciones de Hidrometría, publicación número 49, San José-Costa Rica. 1969.
6. OLADE, INCLAM. Vulnerabilidad al Cambio Climático de los Sistemas de Producción Hidroeléctrico en Centroamérica y sus Opciones de Adaptación, Componente 5, San José, Costa Rica. 2012.
7. Máximo Villón Béjar. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Hidrología Estadística, Cartago Costa Rica. 2001.
8. Linsley Kohler Paulus. Hidrología para ingenieros. 1988.
9. Enriqueta García. Modificaciones al sistema de Köppen. 1988
10. Fernando F. Evaluación de tres modelos Precipitación – Escorrentía (Budyko, Turc-Pire y Pizarro), en la cuenca del río Achibueno, Chile. 2000.
11. SNET (Servicio Nacional de Estudios Territoriales). Balance Hídrico Integrado y Dinámico en el Salvador Componente Evaluación de Recursos Hídricos San Salvador. Diciembre, 2005.
12. UNESCO. Guía metodológica para la elaboración del balance hídrico de América del Sur. Montevideo 117 pp. 1982.
13. Mapa de Atlas Climático de Precipitación Media Anual (1971-2000). INETER. Edición.

ANEXO:

Cuadro 1: Precipitación media mensual de la estación meteorológica de Telpaneca

INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES DIRECCIÓN GENERAL DE METEOROLOGÍA													
Estación: TELPANECA / NUEVA SEGOVIA						Código: 45010							
Departamento: NUEVA SEGOVIA						Municipio: TELPAMECA							
Latitud: 13°31'48"						Longitud: 86°17'18"							
Años: 1980-2011						Elevación: 500 msnm							
Parámetro Precipitación (mm)						Tipo: Pv							
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Media
1980	5.4	3.2	0.0	5.2	123.9	285.0	90.3	98.7	137.5	286.0	112.7	5.7	1153.6
1981	0.0	37.0	25.0	7.1	86.7	478.8	34.6	56.2	69.6	24.5	5.2	0.0	824.7
1982	8.1	0.0	0.1	5.0	188.1	18.3	0.0	2.0	141.1	189.2	45.8	32.7	630.4
1983	13.6	14.0	31.4	20.3	32.9	174.9	10.2	10.2	141.6	138.1	60.1	24.3	671.6
1984	19.7	12.1	9.9	10.2	10.2	13.7	173.6	239.8	227.7	136.3	18.0	8.1	879.2
1985	0.0	11.6	9.4	10.2	10.2	45.2	107.3	175.4	186.4	262.5	64.9	71.4	954.5
1986	27.4	20.3	40.3	0.0	502.8	366.1	517.0	182.1	204.9	157.4	107.9	47.7	2173.9
1987	19.8	36.8	114.0	7.5	70.2	105.7	119.6	121.0	136.6	141.4	58.2	23.1	953.9
1988	17.9	10.2	3.7	8.3	92.3	149.3	63.3	126.4	268.5	47.1	115.5	56.0	958.4
1989	23.5	8.5	2.0	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	91.7	271.3	99.3	11.7	558.9
1990	16.2	5.7	2.8	0.0	114.6	103.1	93.4	0.3	34.4	213.9	3.8	13.9	602.1
1991	28.2	14.2	0.0	3.3	128.7	122.2	172.3	105.8	179.0	16.1	53.4	54.8	878.0
1992	31.1	3.7	0.0	0.0	57.2	88.5	35.3	10.0	94.3	61.2	47.3	13.8	442.4
1993	66.0	0.0	0.0	9.8	53.1	91.9	40.7	56.5	100.8	106.7	11.8	18.5	555.8
1994	0.0	0.0	23.2	14.3	43.9	63.3	70.2	132.1	138.4	111.1	54.0	0.0	650.5
1995	0.0	7.1	0.0	0.0	62.8	52.3	111.7	83.8	9.8	136.8	69.9	0.0	534.2
1996	0.0	0.0	0.0	5.9	0.0	109.8	90.6	89.6	96.3	132.2	66.2	0.0	590.6
1997	0.0	0.0	18.7	0.0	15.9	58.6	81.6	59.0	75.9	119.9	134.8	0.0	564.4
1998	76.0	78.7	12.5	0.0	63.8	24.0	142.1	172.0	315.2	158.4	7.8	0.0	1050.5
1999	0.0	0.0	0.0	0.0	21.9	81.5	72.3	99.7	169.1	162.6	15.8	61.4	684.3
2000	44.3	66.7	0.0	0.0	55.2	148.9	53.4	155.5	111.6	171.9	22.7	36.4	866.6
2001	21.6	0.0	0.0	9.8	91.7	113.3	162.8	94.6	115.4	128.2	36.1	12.7	786.2
2002	58.0	0.0	0.0	0.0	22.0	0.0	40.3	56.3	73.5	139.3	159.1	21.8	570.3
2003	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	135.6	93.9	109.7	160.0	168.9	44.3	0.0	712.4
2004	19.7	8.9	0.0	0.0	113.4	186.9	195.6	180.9	183.5	65.9	46.4	0.0	1001.2
2005	0.0	0.0	0.0	9.5	24.8	12.1	141.0	99.6	84.5	108.3	11.9	100.3	592.0
2006	3.4	0.0	0.0	0.0	0.0	14.6	145.0	208.1	199.2	160.0	134.2	7.6	872.1
2007	0.0	6.7	0.0	0.0	31.8	221.0	265.0	274.8	96.8	255.2	0.0	30.4	1181.7
2008	0.0	0.0	0.0	9.2	196.3	148.6	246.1	222.4	175.6	92.1	120.5	38.1	1248.9
2009	0.0	9.8	0.0	95.3	196.6	182.1	174.4	138.4	209.2	191.4	17.3	0.0	1214.5
2010	0.0	0.0	0.0	0.0	158.7	216.8	140.1	186.9	158.7	232.9	67.3	54.3	1215.7
2011	23.0	24.0	24.9	26.5	26.0	24.9	24.4	24.7	24.5	23.2	22.7	22.2	291.0
Suma	522.9	379.2	317.9	267.6	2605.8	3847.1	3718.2	3582.7	4411.3	4610.0	1835.0	766.9	26864.6
Media	16.3	11.9	9.9	8.4	81.4	120.2	116.2	112.0	137.9	144.1	57.3	24.0	839.5
Max	76.0	78.7	114.0	95.3	502.8	478.8	517.0	274.8	315.2	286.0	159.1	100.3	2173.9
Min	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	9.8	16.1	0.0	0.0	291.0

Cuadro 2: Precipitación media mensual de la estación meteorológica de San Fernando

INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES														
DIRECCIÓN GENERAL DE METEOROLOGÍA														
Estación:		SN FERNANDO / NUEVA SEGOVIA				Código:		45016						
Departamento:		NUEVA SEGOVIA				Municipio:		SN FERNANDO						
Latitud:		13°40'30"				Longitud:		86°18'54"						
Años:		1980-2011				Elevación:		725 msnm						
Parámetro:		Precipitación (mm)				Tipo:		PV						
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Suma	
1980	4.4	5.3	6.4	10.3	274.4	278.5	198.1	117.7	322.7	321.1	58.3	22.0	1,619.20	
1981	3.4	23.4	12.7	38.8	126.3	434.9	114.9	296.9	209.0	207.1	12.8	47.1	1,527.30	
1982	24.9	28.1	11.1	40.3	323.3	277.9	119.7	87.3	189.9	162.9	44.4	41.1	1,350.90	
1983	3.0	1.7	0.0	28.6	102.0	246.4	137.1	151.5	210.4	102.0	49.4	9.6	1,041.70	
1984	24.7	7.7	22.2	2.4	44.3	178.7	185.1	324.0	214.6	172.9	14.8	25.0	1,216.40	
1985	14.0	21.8	16.4	28.5	128.0	118.0	190.0	131.8	103.7	81.1	19.4	26.1	878.80	
1986	6.6	1.2	1.2	0.0	149.8	228.7	197.4	109.8	162.0	45.8	33.9	10.8	947.20	
1987	11.8	2.2	4.9	0.0	0.0	191.4	165.3	64.9	97.2	23.6	14.0	27.5	602.80	
1988	10.7	16.6	19.6	51.2	90.5	124.1	98.3	233.5	362.9	219.8	20.6	22.7	1,270.50	
1989	15.29	14.00	15.71	28.78	133.3	244.2	105.5	106.4	245.7	247.4	125.3	0.0	1,281.58	
1990	56.7	23.9	14.5	52.7	141.8	190.4	101.4	101.0	174.7	180.7	181.6	75.7	1,295.10	
1991	3.6	5.2	0.0	26.1	250.2	112.1	105.4	55.5	63.1	138.5	50.1	36.1	845.90	
1992	30.8	30.6	2.0	12.3	113.0	186.1	142.1	126.2	202.1	103.0	15.0	35.9	999.10	
1993	44.9	5.5	1.7	42.0	179.3	177.6	141.8	167.8	291.7	88.3	17.4	28.2	1,186.20	
1994	43.7	15.0	3.0	43.4	152.5	110.2	80.9	94.0	184.1	150.8	84.4	33.1	995.10	
1995	10.8	11.9	96.9	138.7	118.0	283.2	124.4	244.7	236.2	278.8	29.6	49.7	1,622.90	
1996	20.4	10.4	5.6	12.2	71.7	54.6	235.7	230.7	279.5	206.2	141.5	9.4	1,277.90	
1997	8.8	21.3	19.0	10.3	31.6	263.9	105.6	114.4	189.2	231.3	23.6	6.6	1,025.60	
1998	0.0	0.0	31.1	9.2	119.5	128.7	163.1	129.1	194.8	451.5	131.4	39.2	1,397.60	
1999	19.6	69.7	11.8	40.2	106.9	95.2	122.3	97.0	464.4	192.5	73.9	0.0	1,293.50	
2000	20.3	35.7	0.0	0.0	129.1	93.4	56.7	121.4	186.5	113.0	17.4	66.6	840.10	
2001	6.5	18.1	0.0	13.7	212.4	107.7	116.6	131.5	136.3	113.9	22.0	9.0	887.70	
2002	31.1	16.5	0.0	15.5	264.6	255.5	174.3	128.0	120.2	238.7	26.2	26.5	1,297.10	
2003	14.9	0.0	38.8	15.2	141.9	332.7	76.5	169.5	184.9	123.9	99.2	2.8	1,200.30	
2004	4.6	4.8	8.7	23.5	37.4	110.5	86.2	141.6	222.8	130.7	28.0	5.0	803.80	
2005	2.7	17.6	22.9	10.8	240.4	382.5	222.6	187.0	167.7	164.3	35.0	4.2	1,457.70	
2006	10.3	4.9	5.2	23.9	98.9	130.9	202.2	87.0	62.9	128.9	36.3	59.3	850.70	
2007	20.0	4.1	15.6	3.0	124.6	145.9	101.7	165.6	273.1	284.3	35.7	12.8	1,186.40	
2008	14.3	14.7	23.1	0.0	160.3	247.8	218.4	195.0	210.2	248.7	0.0	5.2	1,337.70	
2009	2.8	4.1	11.6	22.4	202.6	161.4	121.2	98.7	76.8	134.1	29.9	24.6	890.20	
2010	10.9	2.2	32.0	132.7	172.1	131.9	320.9	387.6	378.7	48.6	29.1	0.0	1,646.70	
2011	0.0	1.7	1.0	9.2	276.3	189.8	195.4	205.7	263.9	117.5	31.4	13.4	1,305.30	
Suma	496.4857143	439.9	454.7142857	885.8762	4717	6214.8	4726.8	5002.8	6681.9	5451.9	1531.6	775.2	37378.976	
Media	15.5	13.7	14.2	27.7	147.4	194.2	147.7	156.3	208.8	170.4	47.9	24.2	1168.1	
Max	56.7	69.7	96.9	138.7	323.3	434.9	320.9	387.6	464.4	451.5	181.6	75.7	1646.7	
Min	0	0	0	0	0	54.6	56.7	55.5	62.9	23.6	0	0	602.8	

Cuadro 3: Humedad relativa media mensual de la estación meteorológica de Ocotal

INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES DIRECCIÓN GENERAL DE METEOROLOGÍA													
Estación: OCOTAL / OCOTAL / NUEVA SEGOVIA						Código: 45017							
Departamento: NUEVA SEGOVIA						Municipio: OCOTAL							
Latitud: 13°37'00"						Longitud: 86°28'00"							
Años: 1980 - 2011						Elevación: 612 msnm							
Parámetro: Humedad Relativa Media (%)						Tipo: HMP							
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Media
1980	72	66	62	58	67	80	79	78	81	83	80	74	73
1981	70	68	63	67	74	84	81	80	83	83	77	77	76
1982	72	66	59	58	68	78	80	76	81	79	75	75	72
1983	68	66	58	61	59	80	80	81	87	85	82	76	74
1984	73	71	69	66	69	83	86	89	91	82	77	73	77
1985	70	73	66	64	69	80	86	81	81	84	78	77	76
1986	69	63	58	56	67	80	80	76	80	78	78	74	72
1987	68	63	61	53	61	77	83	76	77	70	66	69	69
1988	66	65	58	63	70	80	82	84	86	80	76	81	74
1989	77	74	59	49	55	75	81	82	85	83	85	82	74
1990	76	75	71	69	79	84	82	84	87	87	89	85	81
1991	81	78	72	73	80	86	81	80	81	83	79	79	79
1992	76	71	64	66	70	81	82	78	80	80	78	76	75
1993	74	68	64	68	81	83	81	84	86	84	80	76	77
1994	75	69	63	63	74	79	65	67	69	75	81	77	71
1995	73	74	68	74	76	80	80	83	87	86	83	83	79
1996	77	73	69	67	76	79	82	84	83	86	86	79	78
1997	69	76	66	60	59	81	80	78	81	85	86	81	75
1998	77	71	70	67	72	80	81	80	86	91	87	83	79
1999	77	72	69	59	66	78	88	83	86	89	86	83	78
2000	80	76	72	68	77	79	77	81	87	88	86	87	80
2001	88	86	83	80	80	85	85	84	88	87	84	84	85
2002	85	81	79	77	83	88	83	78	82	82	81	80	82
2003	78	76	70	65	71	85	82	84	83	84	86	81	79
2004	76	74	73	68	73	77	78	78	80	82	81	75	76
2005	62	72	69	66	77	88	86	86	88	89	88	86	80
2006	83	79	74	75	79	86	85	82	83	81	80	81	81
2007	76	68	68	68	68	79	78	80	84	85	82	80	76
2008	76	74	68	62	66	82	84	81	85	86	81	79	77
2009	76	73	68	63	78	80	80	80	79	79	79	75	76
2010	72	68	71	71	80	83	84	85	87	81	82	78	79
2011	76	74	68	65	78	85	85	85	85	88	83	83	80
2012	77	76	68	70	81	83	81	82	82	84	82	78	79
Suma	2,465	2,379	2,220	2,159	2,383	2,688	2,688	2,670	2,751	2,749	2,684	2,607	2,537
Media	75	72	67	65	72	81	81	81	83	83	81	79	77
Max	88	86	83	80	83	88	88	89	91	91	89	87	85
Min	62	63	58	49	55	75	65	67	69	70	66	69	69

Cuadro 4: Temperatura media mensual de la estación meteorológica de Ocotal

INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES DIRECCIÓN GENERAL DE METEOROLOGÍA Estación: OCOTAL / NUEVA SEGOVIA Código: 45017 Departamento: NUEVA SEGOVIA Municipio: OCOTAL Latitud: 13°37'00" Longitud: 86°28'00" Años: 1980-2011 Elevación: 612 msnm Parámetro: Temperatura Media (C°) Tipo: HMP													
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Media
1980	23.4	23.6	25.8	27.4	27.7	25.3	24.7	24.9	24.3	24.3	23.4	22.1	24.7
1981	21.8	23.6	26.2	26.1	26.7	24.5	24.5	24.7	24.3	24.2	23.4	23.1	24.4
1982	23.2	24.4	25.7	26.8	26.2	24.7	24.3	25.0	24.7	23.9	23.7	22.7	24.6
1983	23.9	25.2	27.2	27.8	28.8	26.1	25.0	25.0	24.6	24.2	23.8	23.0	25.4
1984	22.5	23.9	25.7	27.2	27.3	25.3	24.6	24.1	23.9	23.8	22.9	22.6	24.5
1985	21.7	23.1	25.4	26.5	26.8	25.0	23.8	24.4	24.8	24.1	23.5	23.2	24.4
1986	22.1	24.2	25.1	26.9	26.7	24.6	23.9	25.1	24.4	24.5	23.9	22.9	24.5
1987	22.9	24.6	27.2	27.4	27.5	26.0	24.2	25.3	25.6	25.4	25.6	24.7	25.5
1988	24.2	24.6	26.0	27.1	26.5	25.6	24.7	24.6	24.2	23.9	24.2	22.6	25.1
1989	22.8	23.7	24.8	26.6	26.7	24.4	24.0	24.0	23.4	23.0	22.9	21.5	24.1
1990	22.6	23.1	24.4	25.8	25.0	24.4	24.3	23.8	24.0	24.0	23.0	22.5	23.9
1991	22.6	23.7	25.4	26.7	26.3	24.8	24.6	24.7	25.0	23.7	22.8	22.3	24.4
1992	21.9	23.8	25.2	26.4	26.4	25.1	23.7	24.0	24.0	23.9	23.6	23.2	24.3
1993	23.0	23.9	25.0	26.1	25.3	24.2	24.0	23.8	23.2	23.7	23.4	22.5	24.0
1994	22.6	23.3	25.3	26.3	26.0	24.7	24.8	24.6	24.7	24.1	18.9	23.2	24.0
1995	23.2	23.7	25.6	25.8	25.3	25.1	24.4	24.7	23.9	23.9	23.1	22.7	24.3
1996	22.0	22.9	24.0	26.3	25.1	25.0	24.0	23.7	24.2	23.7	22.8	21.9	23.8
1997	24.0	23.1	24.3	26.2	27.0	24.1	24.6	25.2	24.7	24.1	23.7	21.9	24.4
1998	23.3	24.9	25.6	27.3	26.9	25.3	24.1	24.9	24.2	23.5	23.0	22.4	24.6
1999	22.5	22.7	23.9	25.8	25.7	25.1	23.8	24.7	23.7	23.1	22.3	21.6	23.7
2000	21.4	22.5	24.6	26.3	25.9	25.1	24.9	25.1	24.6	23.4	23.5	22.6	24.2
2001	21.8	23.2	24.8	26.2	26.5	24.5	24.4	25.2	23.9	24.3	23.3	23.8	24.3
2002	23.0	23.9	25.1	26.2	25.7	24.8	24.2	25.0	24.7	24.3	23.5	23.4	24.5
2003	23.1	24.7	26.1	26.8	26.9	24.6	24.5	24.5	25.0	25.1	23.5	22.7	24.8
2004	23.3	24.2	24.7	26.5	26.0	25.2	24.9	25.1	25.3	24.6	23.2	23.1	24.7
2005	24.4	23.5	27.0	27.8	26.3	24.9	24.7	24.7	24.3	23.7	22.8	22.8	24.7
2006	22.8	23.4	24.9	26.4	27.0	25.0	24.9	25.7	25.3	25.5	23.2	23.5	24.8
2007	23.6	24.4	25.4	27.2	27.4	25.3	24.7	24.8	24.1	23.7	22.9	22.2	24.6
2008	22.8	23.4	24.8	26.3	26.7	24.5	23.7	24.8	24.7	23.7	22.5	22.4	24.2
2009	22.4	23.0	24.1	26.5	25.5	25.1	24.8	24.9	25.5	24.8	24.1	23.8	24.5
2010	23.0	25.3	25.6	26.7	25.3	24.9	24.4	24.5	24.1	24.1	22.3	20.8	24.3
2011	23.0	24.0	24.9	26.5	26.0	24.9	24.4	24.7	24.5	23.2	22.7	22.2	24.3
Suma	708.0	737.8	809.8	851.9	845.1	798.1	780.5	790.2	781.8	769.4	741.4	703.3	782.6
Media	22.8	23.8	25.3	26.6	26.4	24.9	24.4	24.7	24.4	24.0	23.2	22.7	24.5
Max	24.4	25.3	27.2	27.8	28.8	26.1	25.0	25.7	25.6	25.5	25.6	24.7	25.5
Min	21.4	22.5	23.9	25.8	25.0	24.1	23.7	23.7	23.2	23.0	18.9	20.8	23.7

Cuadro 5: Temperatura mínima absoluta de la estación meteorológica de Ocotal

INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES DIRECCIÓN GENERAL DE METEOROLOGÍA													
Estación: OCOTAL / NUEVA SEGOVIA						Código: 45017							
Departamento: NUEVA SEGOVIA						Municipio: OCOTAL							
Latitud: 13°37'00"						Longitud: 86°28'00"							
Años: 1980-2011						Elevación: 612 msnm							
Parámetro: Temperatura Mínima Absoluta (C°)						Tipo: HMP							
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Media
1980	16.6	15.8	18.3	19.6	21.6	20.8	19.6	19.7	19.3	19.7	18.1	15.0	18.7
1981	13.9	16.8	18.1	19.2	20.7	20.5	19.0	19.8	19.6	19.2	16.4	17.2	18.4
1982	16.6	18.0	18.8	19.8	21.5	20.4	19.2	19.4	19.8	18.4	17.6	16.8	18.9
1983	17.5	18.5	19.1	21.0	22.0	21.2	20.3	19.7	19.8	18.9	18.3	16.8	19.4
1984	15.9	17.3	18.6	19.6	20.9	20.0	19.6	19.1	19.9	18.7	16.2	17.2	18.6
1985	14.8	16.8	19.0	20.2	19.9	19.6	18.9	19.1	19.2	19.1	17.9	17.6	18.5
1986	15.7	16.8	17.5	19.6	21.8	20.6	19.4	19.9	19.8	19.2	18.7	16.7	18.8
1987	16.3	17.3	19.8	20.0	21.3	21.2	20.5	20.2	20.4	18.7	18.7	19.0	19.5
1988	19.1	19.0	19.6	20.6	20.5	20.7	19.9	20.2	19.9	19.4	18.9	16.9	19.6
1989	16.9	17.6	17.2	20.4	20.7	20.2	19.5	19.5	20.0	18.7	18.3	16.2	18.8
1990	17.7	18.3	19.4	20.9	20.9	20.9	19.8	19.9	19.5	19.4	19.2	18.3	19.5
1991	17.6	17.6	17.6	20.7	21.6	20.6	19.9	20.0	19.9	19.2	17.9	17.8	19.2
1992	16.2	17.6	19.2	21.0	21.1	20.9	19.3	19.0	19.6	18.9	17.8	17.7	19.0
1993	17.1	17.1	18.9	20.7	21.1	20.5	19.5	19.8	19.3	19.4	17.4	16.1	18.9
1994	17.0	17.3	18.1	20.6	21.3	20.2	20.4	20.0	20.5	20.0	18.9	18.2	19.4
1995	17.6	18.3	20.0	21.1	20.2	21.3	20.3	20.9	20.1	20.0	18.3	17.6	19.6
1996	15.5	16.0	16.9	20.3	21.1	19.7	19.5	18.9	19.7	19.8	18.4	16.0	18.5
1997	16.9	17.8	18.8	19.8	21.2	20.3	20.6	20.1	19.8	20.0	19.6	15.7	19.2
1998	16.8	17.7	19.7	20.8	21.4	20.9	19.7	20.2	20.2	20.8	19.1	17.3	19.6
1999	17.2	16.8	17.5	19.5	20.4	20.3	19.4	19.9	20.2	19.2	17.1	15.8	18.6
2000	15.1	16.5	17.8	20.1	21.4	20.8	20.5	20.6	20.5	18.9	18.0	17.1	18.9
2001	16.5	18.3	18.2	20.7	21.7	20.1	19.8	20.6	19.7	20.2	18.0	18.0	19.3
2002	17.2	17.8	18.9	20.2	21.1	20.7	20.6	19.9	20.8	19.7	18.1	18.0	19.4
2003	17.6	19.3	20.0	20.7	22.0	20.8	20.0	19.6	20.3	20.6	19.1	16.6	19.7
2004	17.2	18.0	19.5	20.1	21.6	21.3	19.9	20.1	20.5	19.9	18.0	17.0	19.4
2005	16.6	15.9	20.2	20.8	21.3	21.0	20.6	20.5	20.2	19.9	17.9	17.1	19.3
2006	17.0	17.4	17.9	20.0	21.0	20.8	20.4	20.3	19.8	20.5	17.7	18.4	19.3
2007	18.4	17.8	19.5	21.5	21.9	20.9	20.0	20.4	19.9	19.8	17.6	15.0	19.4
2008	17.1	17.2	18.1	20.2	21.4	20.5	20.0	20.2	21.0	20.6	16.8	16.7	19.2
2009	16.1	17.0	17.4	20.1	21.1	20.7	20.8	20.1	20.1	19.5	19.0	18.0	19.2
2010	17.1	19.7	19.0	21.4	21.3	20.7	20.5	20.8	20.4	18.7	16.8	14.2	19.2
2011	16.9	18.3	18.1	20.1	21.3	21.2	20.2	20.2	19.9	19.4	17.0	16.2	19.1
Suma	535.7	561.6	596.7	651.3	678.3	660.3	637.6	638.6	639.6	624.4	576.8	542.2	611.9
Media	16.7	17.6	18.6	20.4	21.2	20.6	19.9	20.0	20.0	19.5	18.0	16.9	19.1
Max	19.1	19.7	20.2	21.5	22.0	21.3	20.8	20.9	21.0	20.8	19.6	19.0	19.7
Min	13.9	15.8	16.9	19.2	19.9	19.6	18.9	18.9	19.2	18.4	16.2	14.2	18.4

Cuadro 6: Temperatura máxima absoluta de la estación meteorológica de Ocotal

INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES DIRECCIÓN GENERAL DE METEOROLOGÍA													
Estación: OCOTAL / NUEVA SEGOVIA						Código: 45017							
Departamento: NUEVA SEGOVIA						Municipio: OCOTAL							
Latitud: 13°37'00"						Longitud: 86°28'00"							
Años: 1980 - 2011						Elevación: 612 msnm							
Parámetro: Temperatura Máxima Absoluta (C°)						Tipo: HMP							
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Maximo
1980	32.3	32.5	34.9	35.7	36.2	32.1	30.9	32.6	31.5	31.1	30.5	29.2	36.2
1981	32.2	30.6	35.8	33.6	34.5	31.4	31.5	33.0	30.7	30.7	31.2	30.8	35.8
1982	32.0	30.9	34.7	33.9	33.2	32.3	30.2	31.7	32.0	29.8	31.2	29.8	34.7
1983	36.9	36.1	37.6	37.1	35.9	33.4	31.5	31.9	31.9	30.7	31.5	30.4	37.6
1984	31.7	34.7	35.3	37.0	34.2	33.1	31.7	31.5	30.8	29.8	31.0	30.0	37.0
1985	31.1	30.6	35.0	33.8	33.6	32.2	31.1	31.6	32.4	31.1	30.4	30.8	35.0
1986	29.6	33.8	34.3	35.2	34.3	30.5	30.1	31.7	31.0	32.0	30.8	30.6	35.2
1987	32.1	36.2	38.9	35.2	34.1	34.2	30.3	32.3	33.0	33.2	33.6	34.7	38.9
1988	32.9	35.0	35.4	35.5	35.8	32.0	31.8	31.5	31.8	31.5	32.0	31.3	35.8
1989	31.8	33.5	37.0	33.0	33.9	32.7	31.9	33.1	31.5	30.6	32.0	32.6	37.0
1990	30.0	32.0	34.0	36.0	32.6	32.1	33.4	34.0	32.6	32.5	30.9	29.5	36.0
1991	29.8	32.5	35.0	36.7	34.3	31.9	32.2	33.1	33.6	32.9	30.0	29.4	36.7
1992	30.8	35.1	35.5	37.1	36.2	34.1	31.3	32.6	33.8	32.1	31.6	30.8	37.1
1993	31.8	34.8	34.4	36.1	34.0	31.7	31.8	31.5	32.1	31.8	31.5	32.5	36.1
1994	31.1	31.8	35.6	34.3	34.6	32.3	33.2	33.7	33.4	31.5	31.8	30.5	35.6
1995	32.8	32.5	34.6	35.3	33.4	34.1	32.9	34.4	31.2	31.6	30.2	31.5	35.3
1996	32.5	32.7	34.3	34.5	33.8	33.3	31.7	31.2	32.2	32.1	30.7	30.9	34.5
1997	31.0	31.0	33.5	35.7	35.1	35.2	31.3	34.4	33.6	31.0	31.3	31.5	35.7
1998	33.7	37.7	38.2	37.1	39.0	33.8	32.9	34.2	32.8	31.0	30.5	30.3	39.0
1999	30.6	33.5	34.1	36.5	35.5	35.2	31.6	33.4	32.6	31.2	31.0	30.6	36.5
2000	33.7	30.8	35.5	34.9	35.9	33.6	32.6	33.8	33.0	31.2	33.5	31.4	35.9
2001	30.5	31.2	37.3	35.1	35.2	31.9	32.9	34.4	32.9	32.2	31.9	32.2	37.3
2002	31.7	32.2	33.7	34.5	35.5	33.8	32.0	33.0	33.8	34.0	31.0	32.2	35.5
2003	31.3	34.6	37.0	37.5	37.9	33.0	32.2	33.4	34.7	33.3	31.6	32.3	37.9
2004	33.3	34.0	33.0	37.8	34.2	33.7	34.3	34.6	35.4	33.2	32.4	31.2	37.8
2005	32.3	36.0	36.7	37.0	35.6	32.9	34.7	32.4	32.2	31.7	31.2	31.0	37.0
2006	31.4	34.0	34.8	35.9	36.4	34.9	32.7	34.1	34.2	33.5	32.1	30.9	36.4
2007	31.5	35.5	34.3	38.8	36.6	34.5	32.4	33.6	32.5	31.9	30.9	31.0	38.8
2008	31.6	33.3	34.7	36.0	37.1	33.3	31.4	32.9	33.5	31.5	31.3	31.5	37.1
2009	31.2	32.5	34.6	37.2	35.2	34.1	32.5	32.5	33.6	33.6	32.0	33.0	37.2
2010	34.6	36.7	38.3	36.5	34.6	34.1	33.1	32.2	32.6	32.2	31.0	31.5	38.3
2011	32.1	32.2	36.5	36.2	35.5	33.9	32.4	33.0	33.1	31.6	31.0	31.0	36.5
Suma	1021.9	1070.5	1134.5	1146.7	1123.9	1061.3	1026.5	1053.3	1046.0	1018.1	1003.6	996.9	1171.4
Media	31.9	33.5	35.5	35.8	35.1	33.2	32.1	32.9	32.7	31.8	31.4	31.2	36.6
Max	36.9	37.7	38.9	38.8	39.0	35.2	34.7	34.6	35.4	34.0	33.6	34.7	39.0
Min	29.6	30.6	33.0	33.0	32.6	30.5	30.1	31.2	30.7	29.8	30.0	29.2	34.5

Cuadro No. 7: Factor de corrección por latitud (Fc Latitud)

	Fc Latitud - Factor corrección por Latitud											
Latitud °	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
14	7.08	7.89	8.43	8.44	8.90	8.73	8.99	8.79	8.28	8.28	7.85	8.04
13	7.58	7.64	8.44	8.44	8.87	8.69	8.95	8.79	8.28	8.28	7.85	8.05
12	8.08	7.40	8.44	8.43	8.84	8.64	8.90	8.78	8.27	8.28	7.85	8.05
11	8.01	7.40	8.44	8.43	8.83	8.61	8.87	8.76	8.27	8.29	7.87	8.07
10	8.11	7.40	8.44	8.43	8.81	8.57	8.84	8.74	8.26	8.29	7.89	8.08

Fuente: INETER

Cuadro No. 8: Factor de duración por latitud (Fd Latitud)

	Fd Latitud - Factor de duración por Latitud											
Latitud °	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
15	11.30	11.60	12.00	12.50	12.80	13.00	12.90	12.60	12.20	11.80	11.40	11.20
13	11.48	11.72	12.00	11.42	12.72	12.88	12.78	12.52	12.16	11.80	11.52	11.38
12	11.56	11.77	12.00	12.01	12.68	12.82	12.72	12.48	12.14	11.80	11.46	11.46
11	11.58	11.79	12.00	12.16	12.64	12.76	12.66	12.44	12.12	11.80	11.53	11.48
10	11.60	11.80	12.00	12.30	12.60	12.70	12.60	12.40	12.10	11.80	11.60	11.50

Fuente: INETER

Cuadro No. 9: Radiación extraterrestre (RMD)

	Radiación extraterrestre, RMD, expresada en Evaporación equivalente en mm/día.											
Latitud °	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
14	12.40	13.60	14.90	15.70	15.80	15.70	15.70	15.70	15.10	14.10	12.80	12.00
13	12.60	13.75	15.00	15.70	15.75	15.60	15.60	15.65	15.15	14.25	13.05	12.25
12	12.80	13.90	15.10	15.70	15.70	15.50	15.50	15.60	15.20	14.40	13.30	12.50
11	13.00	14.05	15.20	15.70	15.60	15.40	15.40	15.55	15.25	14.55	13.45	12.70
10	13.20	14.20	15.30	15.70	15.50	15.30	15.30	15.50	15.30	14.70	13.60	12.90

Fuente: INETER